高等医药院校基础医学实验教学系列规划教材
供本、专科医学类相关专业学生使用

无机化学学习与实验指导

主　编　秦子平　石灵高
副主编　覃永余　杨　梅　吕保樱　张　悦
编　者　（按姓氏笔画排序）
马冬冬（广西科技大学医学院）
王金铃（山西医科大学汾阳学院）
牛　颖（大庆医学高等专科学校）
甘琳琳（广西科技大学医学院）
石灵高（广西科技大学医学院）
吕保樱（广西科技大学医学院）
杨　梅（广西科技大学医学院）
杨联敏（广西科技大学医学院）
岑春田（广西科技大学医学院）
张　悦（河西学院医学院）
张学东（首都医科大学）
秦子平（广西科技大学医学院）
覃永余（广西科技大学医学院）
蒙衍强（广西科技大学医学院）

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

无机化学学习与实验指导 / 秦子平，石灵高主编. —北京：电子工业出版社, 2016.9

高等医药院校基础医学实验教学系列规划教材

ISBN 978-7-121-29298-9

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①秦… ②石… Ⅲ. ①无机化学－化学实验－医学院校－教材

Ⅳ. ①O61-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第147561号

策划编辑：崔宝莹
责任编辑：樊岚岚
印　　刷：三河市华成印务有限公司
装　　订：三河市华成印务有限公司
出版发行：电子工业出版社
　　　　　北京市海淀区万寿路173信箱　　邮编：100036
开　　本：787×1092　1/16　　印张：13　　字数：290千字　　彩插：1
版　　次：2016年9月第1版
印　　次：2016年9月第1次印刷
定　　价：36.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件到dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：QQ 250115680。

高等医药院校基础医学实验教学系列规划教材
建设指导委员会

主 任 委 员　姚金光

副主任委员　义家运　秦子平

委　　　员　（按姓氏笔画排序）

文玉萍　伍善广　刘珍莲

张安文　陆　春　陆桂喜

黄水群　廖春玲

前言 PREFACE

化学是一门以实验为基础的学科，实验是化学的灵魂。无机化学实验是无机化学课程的重要组成部分，是以实验操作为主的技能课程。它系统地介绍了无机化学实验的基本操作技术、实验原理和实验方法等内容，为后续的有机化学实验、分析化学实验、药物化学实验等课程的学习奠定坚实的基础。通过本课程的学习与操作，学生能更好地掌握各种无机化学常用化学仪器的使用；熟练掌握无机化学的实验技能和基本操作；加深对无机化学基本理论、基本知识的认识和理解；提高学生的观察、分析和解决实际问题的能力；培养学生良好的实验习惯，严肃认真、实事求是的科学态度和严谨的工作作风，为学习后续专业课程和将来从事专业工作打下良好的基础。

本书是为适应无机化学实验技术和方法的不断发展需要而编写的。本书覆盖了基本仪器操作技术、四大化学平衡、元素性质等内容，详细介绍了无机化学实验基本要求、基本知识、常用仪器的基本操作方法和技术，并精心编写了18个无机化学实验供各专业选用。本书可供高等医药院校本科各相关专业学生使用，也可供高职高专各相关专业学生使用。

为帮助同学们更好地学习无机化学及实验课程，我们特意建立了化学教学网站，网站内容丰富，包含各章节理论、实验电子教材、教案及多媒体教学课件、教学视频，并配有大量的章节习题、总复习题及答案，方便学生自主学习；同时还设有网上练习及网上考试两个栏目，供学生及时检查学习效果。本书后也分章收录了部分习题，并附有答案，供学生学习和参考。

本书的编写得到了电子工业出版社和各参编院校领导的大力支持，在此致以诚挚的感谢。书中参考并引用了行业专家和学者有关教材及专著的一些观点，在此，特向原作者深表谢意。

鉴于编者的专业知识、教学经验所限，加上时间仓促，书中缺点与错误在所难免，敬请同行专家和使用本书的广大师生批评指正。

秦子平　石灵高

2016 年 6 月

目录 CONTENTS

上篇　理论和实验

第一章　无机化学实验的基本要求　/ 2

第二章　无机化学实验的基本知识　/ 7

第三章　无机化学实验常用的仪器和基本操作技术　/ 12

　第一节　称量仪器的使用　/ 12

　第二节　常用玻璃仪器及其洗涤和干燥　/ 17

　第三节　化学试剂的取用和混匀　/ 25

　第四节　保温、加热和冷却操作　/ 28

　第五节　气体的发生、净化　/ 32

　第六节　溶解、过滤操作　/ 34

　第七节　结晶、离心分离　/ 39

　第八节　试纸的使用　/ 42

　第九节　酸度计（pH 计）的使用　/ 43

第四章　无机化学实验　/ 48

　实验一　实验安全教育及仪器辨识、洗涤、干燥　/ 48

　实验二　电子天平称量练习　/ 51

　实验三　溶液的配制　/ 55

实验四　药用氯化钠的制备 / 57
实验五　醋酸解离度和解离平衡常数的测定 / 59
实验六　五水硫酸铜的制备和提纯 / 61
实验七　胶体溶液 / 63
实验八　化学反应速率与化学平衡 / 66
实验九　缓冲溶液 / 70
实验十　解离平衡与沉淀反应 / 73
实验十一　氧化还原反应 / 75
实验十二　配位化合物 / 77
实验十三　碱金属和碱土金属 / 79
实验十四　卤素、氧族元素 / 81
实验十五　氮族、碳族、硼族元素 / 83
实验十六　铬、锰、铁、钴、镍及其重要化合物 / 85
实验十七　三氯化六氨合钴的制备 / 90
实验十八　硫酸亚铁铵的制备 / 91

下篇　练习与拓展

一、绪论 / 96
二、原子结构 / 98
三、分子结构 / 105
四、溶液 / 112
五、胶体溶液 / 116
六、化学反应速率和化学平衡 / 119
七、酸碱平衡 / 127
八、难溶电解质的沉淀－溶解平衡 / 132

九、氧化还原与电极电势 / 135
十、配位化合物和生物元素 / 138
十一、s 区重要元素及其化合物 / 140
十二、p 区重要元素及其化合物 / 144
十三、d 区重要元素及其化合物 / 151

参考答案 / 158
参考文献 / 195
附录 / 196

上篇

理论和实验

第一章　无机化学实验的基本要求

一、课程目标

1. 正确、熟练地掌握定量无机实验的基本操作技能。

2. 充分运用所学的理论知识指导实验，培养学生提出、观察、分析及解决问题的独立工作能力及统筹安排能力，培养学生的创新意识与创新能力。

3. 学会正确、合理地选择实验条件和实验仪器，以保证实验结果的可靠性。

4. 通过实验，培养学生的综合能力，如信息、资料的收集与整理，数据的记录与分析，问题的提出与证明，观点的表达与讨论；树立敢于质疑，勇于探究的意识。

5. 培养严谨的科学态度和实事求是、一丝不苟的工作作风。

二、课程要求

1. 课前必须认真预习。弄清实验目的、原理、操作概要、各步操作的意义及注意事项。

2. 认真阅读“实验室使用规则” 和“天平室使用规则”等，自觉遵守实验室的各项规章制度。树立环境保护意识，尽量降低化学物质（特别是有毒有害试剂以及洗液、洗衣粉等）的消耗。

3. 保持室内安静，保持实验台面清洁整齐。爱护仪器和公共设施，树立良好的公共道德。

4. 认真如实地记录测量原始数据，必须随时记录在专用实验记录本上。不得涂改原始实验数据。

5. 实验后能够正确分析和处理实验中的相关数据，合理表达和解释实验结果，并能给出合格的实验报告。

三、实验记录

1. 实验过程中的各种测量数据及有关现象，应及时准确而清楚地记录下来。不可以用单片纸做记录或草稿。记录实验数据时，要有严谨的科学态度，要实事求是，切忌夹杂主观因素，决不能随意拼凑或伪造数据。

2. 实验过程中测量数据时，应注意其有效数字的位数。用普通分析天平称重时，

要记录到 0.0001g。

3. 实验记录上的每一个数据，都是测量结果，所以重复观测时，即使数据完全相同，也都要记录下来。

4. 进行记录时，文字记录应整齐清洁；数据记录应尽量采用一定的表格形式，这样更为清楚明白。

5. 在实验过程中，如发现数据算错、测错或读错而需要改动时，可将该数据用一横线划去，并在其上方写上正确的数字。

6. 发现记录的结果有疑问、遗漏、丢失等，都必须重做实验。因为将不可靠的结果当作正确的记录，在实际工作中可能造成难以估计的损失。所以在学习期间就应一丝不苟，努力培养严谨求实的工作作风。

四、实验报告

无论是初学者还是熟练的化学工作者，实验结束后，都须及时整理和总结实验结果，写出实验报告。

实验报告一般包括实验名称、实验日期、实验目的、基本原理、主要试剂和仪器、实验简要步骤及现象、实验数据及其处理、结果分析与讨论。上述各项内容的繁简，应根据各个实验的具体情况而定，以清楚、简练为原则。

（一）实验报告书写的内容

1. 实验基本原理　简要地用文字和化学反应式说明，尽量用自己的语言表达。对特殊仪器的实验装置，应画出实验装置图。

2. 主要试剂和仪器　列出实验中所要使用的主要试剂和仪器。常见的仪器装置要求画图。

3. 实验简要步骤及现象　应简明扼要地写出实验步骤流程，并记录实验中出现的各种现象。尽量用简图、表格或以化学式、符号等表示。

4. 实验数据及其处理　认真做好实验记录，应用文字、表格、图形将数据表示出来。根据实验要求及计算公式计算出分析结果并进行有关数据和误差处理，尽可能地使记录表格化。

5. 结果分析与讨论　根据实验现象或数据进行分析、解释，得出正确的结论并进行相关的讨论，或将计算结果与理论值比较，分析误差的原因。讨论包括：对实验结果（如实验的正常结果和异常现象）进行探讨，对于实验方法、实验设计的认识、体会和建议，对实验课的改进意见等。对实验现象、产生误差原因等进行讨论和分析，应尽可能结合无机化学有关理论，以提高自己分析问题、解决问题的能力。

在实验报告中，原理以及操作步骤部分应简明扼要，但是对于实验条件和操作的

关键环节必须写清楚。对于实验结果部分，应将获得的实验数据进行整理、归纳、分析和对比，并尽量总结成各种图表，如原始数据及其处理的表格、标准曲线图以及比较实验组与对照组实验结果的图表等。另外，还应针对实验结果进行必要的说明和分析。

（二）实验报告格式

1. 性质实验报告

实验名称：　　　　　　　　　　　　实验日期：

班级：　　　　　　　学号：　　　　　　　姓名：

（1）实验目的

（2）实验步骤、现象及解释，见下表。

操作步骤	实验现象	解释和反应方程式

（3）分析与讨论

2. 合成实验报告

实验名称：　　　　　　　　　　　　实验日期：

班级：　　　　　　　学号：　　　　　　　姓名：

（1）实验目的

（2）实验原理和反应方程式

（3）主要试剂及产物的物理常数

（4）装置图

（5）实验步骤及现象，见下表。

步骤	实验现象

（6）实验结果

产品外观：

粗品产量：　　　　　　　纯品产量：

粗品产率：　　　　　　　纯品产率：

（7）分析与讨论

3. 测定实验报告

实验名称：　　　　　　　　　　　　　实验日期 ：

班级：　　　　　　　学号：　　　　　姓名：

（1）实验目的

（2）实验基本原理

（3）主要试剂和仪器

（4）实验简要步骤

（5）实验数据及其处理

（6）结果分析与讨论

五、无机化学实验的学习方法

必须有正确的学习态度和良好的学习方法。主要抓好预习、实验和书写实验报告三个环节。

1. 实验前的预习　学生进入实验室前，必须做好预习。实验前的预习，归纳起来是看、查、写三个字。

看：仔细阅读与本次实验有关的全部内容（实验指导书、理论教学课本）。

查：通过查阅书后附录、有关手册以及与本次实验相关的教程内容，了解实验中要用到的或可能出现的基本原理、化学物质的性质和有关理化常数。

写：在看和查的基础上认真写好预习报告。预习报告的具体内容及要求是：

（1）实验目的和要求，实验原理和反应方程式，需用的仪器和装置的名称及性能，溶液的浓度及配制方法，主要的试剂和产物的理化常数，主要试剂的规格用量，基准物质和指示剂的选择，标定和滴定的计算公式等，都要一一写明。

（2）根据实验内容用自己的语言正确地写出简明的实验步骤（不要照抄！），关键之处应加以注明。步骤中的内容可用符号简化。例如，化合物只写分子式；加热用“△”，加用“+”，沉淀用“↓”，气体逸出用“↑”表示等；仪器以示意图代之。这样在实验前已形成了一个工作提纲，实验时按此提纲进行即可。

（3）对实验中的正常反应现象，如滴定过程中指示剂颜色变化等事先一一做好标记，以便在实验中进行对比，甚至发现新的问题。

（4）对于实验中可能会出现的问题（包括安全问题和导致实验失败的因素）要进行预判，并写出防范措施和解决办法。

2. 实验

（1）实验时除认真操作、仔细观察、积极思考外，还应及时地将观察到的实验现象及测得的各种数据如实地记录在专用记录本上。记录必须做到简明、扼要、字迹整洁。

（2）如果发现实验现象和理论不符合，应认真检查原因，遇到疑难问题而自己难以解释时，可提请教师解答。必要时重做实验。

（3）在实验过程中应保持肃静，严格遵守实验操作规程，独立完成各项实验操作。

（4）实验完毕后，认真整理各种实验数据，并将实验记录交教师审阅。

3. 实验报告　实验完后，应及时完成实验报告，交指导教师批阅。实验报告书写要求如前述。

（秦子平）

第二章　无机化学实验的基本知识

一、实验室规则

实验室规则是人们在长期实验室工作中归纳总结出来的，它是保持正常从事实验的环境和工作秩序，防止意外事故，做好实验的一个重要前提，人人都必须做到，必须遵守。

1. 课前应认真预习，明确实验目的和要求，了解实验的内容、方法和基本原理。

2. 实验时应遵守操作规则，注意安全。爱护仪器，节约试剂，节约水、电等。

3. 遵守纪律，不迟到，不早退，保持室内安静，不要大声说笑。

4. 实验中要认真操作，仔细观察各种现象，将实验中的现象和数据如实记在记录本上。根据原始记录，认真地分析问题、处理数据，写出实验报告。

5. 实验过程中，随时注意保持工作区域的整洁。火柴、纸张和废品只能丢入废物缸内，不能丢入水槽，以免堵塞水槽。酸性溶液应倒入废液缸中，切勿倒入水槽，以防腐蚀下水管道。碱性废液倒入水槽并用水冲洗。

6. 加强环保意识，采取积极措施，减少有毒气体和废液对大气、水和周围环境的污染。

7. 实验完毕后，将玻璃容器洗净，公用设备放回原处，把实验台和药品架整理干净，清扫实验室。最后检查门、窗、水、电、煤气是否关好。

二、实验室安全知识

进行化学实验时，需要经常使用水、电、煤气并可能遇到一些有毒、有腐蚀性或者易燃、易爆的物质，因此重视安全操作、熟悉一般的安全知识是非常必要的，我们必须从思想上重视安全，决不要麻痹大意，但也不能因为盲目害怕而缩手缩脚不敢做实验。

安全措施是为了保护实验的顺利进行，而绝不是实验的障碍。为此必须熟悉和注意以下几点：

1. 必须熟悉实验室及其周围环境和水闸、电闸、灭火器的位置。

2. 使用电器时，要谨防触电，不要用湿的手、物去接触电源插座。实验完毕后及时切断电源。

3. 一切有毒和有恶臭气体的实验，都应在通风橱内进行。

4. 为了防止试剂腐蚀皮肤或进入体内，不能用手直接拿取试剂，要用药匙或指定的

容器取用。取用一些强腐蚀性的试剂（如氢氟酸、溴水等）时，必须戴上橡皮手套。决不允许用舌头尝试药品的味道。实验完毕后须将手洗净，严禁将食品及餐具等带入实验室中。

5. 不允许将各种化学药品任意混合，以免引起意外事故，自行设计的实验必须征得同意后方可进行。

6. 对易燃物（如酒精、丙酮、乙醚等）、易爆物（如氯酸钾），使用时要远离火源，用完后应及时加盖并存放在阴凉处。

7. 酸、碱是实验室常用试剂，浓酸、浓碱具有强烈腐蚀性，应小心使用，不要把它洒在衣服或皮肤上。所用玻璃器皿不要甩干。在倾注或加热时，不要俯视容器，以防溅在脸上或皮肤上。实验用过的废酸应倒入指定的废酸缸中。

8. 用完煤气后，或遇到煤气临时中断供应时，应把煤气开关关好，遇到漏气时，应停止实验，进行检查。

9. 启开易挥发的试剂瓶时，尤其在夏季，不可使瓶口对着自己或他人脸部，以防万一有大量气液冲出，造成严重烧伤。

10. 实验完毕后，值日生和最后离开实验室的人员应负责检查门、窗、水、煤气是否关好，电闸是否断开。

三、实验室中意外事故的急救处理

1. 割伤（玻璃或铁器刺伤等） 先把碎玻璃从伤处挑出，轻伤可用生理盐水或硼酸溶液擦洗伤处，涂上紫药水（或红汞水），必要时撒些消炎粉，用绷带包扎；伤势较重时，则先用酒精在伤口周围擦洗消毒，再用纱布按住伤口压迫止血，然后立即送医院缝合。

2. 烫伤 可用10%高锰酸钾溶液涂擦灼伤处，若伤势较重，撒上消炎粉或烫伤药膏，用油纱绷带包扎。

3. 受强酸腐伤 先用大量水冲洗，然后擦上碳酸氢钠油膏。如受氢氟酸腐伤，应迅速用水冲洗，再用5%苏打溶液冲洗，然后浸泡在冰冷的饱和硫酸镁溶液中半小时，最后敷一硫酸镁26%、氧化镁6%、甘油18%、水和盐酸普鲁卡因1.2%配成的药膏（或涂抹甘油和氧化镁2∶1悬浮剂），用消毒纱布包扎；伤势严重时，应立即送医院急救。

当酸溅入眼内时，首先用大量水冲眼，然后用3%的碳酸氢钠溶液冲洗，最后用清水洗眼。

4. 受强碱腐伤 立即用大量水冲洗，然后用1%柠檬酸或硼酸溶液洗。当碱溅入眼内时，除用大量水冲洗外、再用饱和硼酸溶液冲洗，最后滴入蓖麻油。

5. 磷烧伤 用1%硫酸铜、1%硝酸银或浓高锰酸钾溶液处理伤口后，送医院治疗。

6. 吸入有毒气体（溴、氯等） 可吸入少量酒精和乙醚的混合蒸汽以解毒，同时应到室外呼吸新鲜空气。

7. 触电事故　应立即拉电闸，断电源，尽快利用绝缘物（干木棒，竹竿）将触电者与电源隔离。

以上事故如果严重，应立即送医院医治。

四、实验室中的一些剧毒、强腐蚀物品

1. 氰化物和氢氰酸　如氰化钾、氰化钠、丙烯腈等系烈性毒品，50mg 即可致死。甚至与皮肤接触经伤口进入人体，亦可引起严重中毒。这些氰化物遇酸产生氢氰酸气体，易被吸入人体而导致中毒。

在使用氰化物时严禁用手直接接触，大量使用这类药品时，应戴上口罩和橡皮手套。含有氰化物的废液，严禁倒入酸缸。应先加入硫酸亚铁使之转变为毒性较小的亚铁氰化物，然后倒入水槽，再用大量水冲洗原贮放的器皿和水槽。

2. 汞和汞的化合物　汞的可溶性化合物如氯化汞、硝酸汞都是剧毒物品，实验中应特别注意金属汞（如使用温度计、压力计、汞电极等）。因金属汞易蒸发，蒸气有剧毒，又无气味，吸入人体具有积累性，容易引起慢性中毒，所以切不可以麻痹大意。

若不慎将汞洒在地上，它会散成许多小珠，钻入各处，成为表面积很大的蒸发面，此时应立即用滴管或毛笔尽可能将它拾起，然后用锌皮接触使成合金而消除之，最后撒上硫磺粉，使汞与硫反应生成不挥发的硫化汞。

废汞切不可以倒入水槽冲入下水管。因为它会积聚在水管弯头处，长期蒸发、毒化空气，误洒入水槽的汞也应及时捡起。使用和贮存汞的房间应经常通风。

3. 砷的化合物　砷和砷的化合物都有剧毒，常使用的是三氧化二砷（砒霜）和亚砷酸钠。这类物质中毒一般由于口服引起。当用盐酸和粗锌制备氢气时，也会产生一些剧毒的砷化氢气体，应加以注意。一般将产生的氢通过高锰酸钾溶液洗涤后再使用，砷的解毒剂是二巯基丙醇，肌肉注射即可解毒。

4. 硫化氢　硫化氢是极毒的气体，有臭鸡蛋味，它能麻痹人的嗅觉，以至于逐渐不闻其臭，所以特别危险。使用硫化氢和用酸分解硫化物时，应在通风橱中进行。

5. 一氧化碳　煤气中含有一氧化碳，使用煤炉和煤气时一定要提高警惕，防止中毒。煤气中毒，轻者头痛、眼花、恶心，重者昏迷。对中毒的人，应立即将其移出中毒房间，让其呼吸新鲜空气，对其进行人工呼吸、保暖，及时送医院治疗。

6. 有机物　许多有机化合物是很毒的，它们又常用作溶剂，用量大，而且多数沸点又低，蒸气浓，容易引起中毒，特别是慢性中毒，使用时应特别注意和加强防护。常用的有毒的有机化合物有苯、二硫化碳、硝基苯、苯胺、甲醇等。

7. 溴　棕红色液体，易蒸发成红色蒸气，对眼睛有强烈的刺激催泪作用，能损伤眼睛、气管、肺部，触及皮肤，轻者剧烈灼痛，重者溃烂，长久不愈。使用时应戴橡

皮手套。

8. 氢氟酸　氢氟酸和氟化氢皆具剧毒，强腐蚀性。灼伤肌体，轻者剧痛难忍，重者肌肉腐烂，渗入组织，如不及时抢救，就会造成死亡，因此在使用氢氟酸时应特别注意，操作必须在通风橱中进行，并戴橡皮手套。

其他的有毒、腐蚀性的无机物还很多，如磷的化合物、铅盐、浓硝酸、碘蒸气等，使用时都应加以注意。

五、天平室规则

分析天平是定量分析中最重要的仪器之一。开始做分析工作之前必须熟悉如何正确使用分析天平，因为称量的准确度对分析结果有很大的影响。常用的分析天平有半自动电光天平、全自动电光天平、单盘电光天平、微量天平等。这些天平在结构和使用方法上虽有些不同，但基本原理是相同的。技术先进的电子天平亦被广泛应用。

1. 分析天平是精密仪器，需安装在专门的天平室内使用。天平室应远离震源、热源，并与产生腐蚀性气体的环境隔离。室内应清洁无尘。室内以 18℃ ~26℃为宜，且应相对稳定。室内应保持干燥，相对湿度一般不要大于 75%。

2. 天平必须安放在牢固的水泥台上，有条件时台面可铺橡皮布防滑、减震。天平安放的位置应避免阳光直射，并应悬挂窗帘挡光，以免天平两侧受热不均、横梁发生形变或使天平箱内产生温差，形成气流，从而影响称量。

3. 不得在天平室里存放或转移挥发性、腐蚀性的试剂（如浓酸、强碱、氨、溴、碘、苯酚及其他有机试剂等）。如欲称量这些物质，宜用玻璃密封容器进行称量。

4. 称量是一项非常细致的工作，天平室里应保持肃静，不得喧哗。与称量无关的物品不要带入天平室。

5. 不得带潮湿的器皿进入天平室。需要称取水溶液时，应盛入密封性好的容器（如细颈比重瓶、称量滴定管等）称量，且应尽量缩短称量时间。

6. 称量前，必须用软毛刷清扫天平。然后检查天平是否水平，并检查和调整天平的零点。

7. 使用过程中要特别注意保护玛瑙刀口。起落升降枢纽应缓慢，不得使天平剧烈振动。取放物体、加减砝码和移动游码时，都必须把天平梁托起，以免损坏刀口。

8. 天平的前门不得随意打开，它主要供装卸、调节和维修用。称量过程中取放物体，加减砝码只能打开天平的左门及右门。称量物和砝码要放在天平盘的中央，以防盘摆动。化学试剂和试样不得直接放在盘上，必须盛在干净的容器中称量。对于具有腐蚀性气体或吸湿性的物质，必须放在称量瓶或适当密闭的容器中称量。

9. 取放砝码必须用镊子夹取，严禁用手拿取，以免玷污砝码。砝码由大到小逐一

取放在天平盘上。砝码用完后要放回砝码盒中。电光天平自动加码时，也应由大到小一挡一挡慢慢地加，防止砝码跳落、互撞。

10. 经常保持砝码的清洁，使用前以专用的软刷拂去可能沾附在砝码表面上的灰尘。砝码只在使用时才由盒中取出，且只允许放在称盘上，不用时应整齐地放在砝码盒中相应的孔穴里。砝码盒应随时盖好，以防灰尘落入。

11. 称量的数据应及时写在记录本上，不能记在纸片上或其他地方。

12. 称量完毕，托起天平，取出物体和砝码。电光天平应将指数盘还原，切断电源，关好天平门，最后盖上防尘罩。

13. 称量的物体必须与天平箱内的温度一致，不得把热的或冷的物体放进天平称量。为了防潮，在天平箱内放有吸湿用的干燥剂（如硅胶、无水氯化钙等）。

14. 天平的载重绝对不能超过天平的最大负载。在同一次实验中，应使用同一台天平和同一盒砝码。

六、化学实验室学生守则

1. 学生实验必须在规定时间内进行，不得迟到、早退或无故旷课。

2. 学生在实验室内不得抽烟，不许大声喧哗，保持室内安静。

3. 学生必须爱护仪器设备，节约水、电、药品等。

4. 实验前必须认真预习，掌握实验的目的、原理、要求和方法，并熟悉操作方法，拟订实验计划，否则不能进入实验室。

5. 实验过程中，应严格按操作规程进行，细致观察，认真记录，做好实验报告。注意理论联系实际，提高观察问题、分析问题、解决问题的能力。

6. 任何人不得私自带仪器、药品出实验室。否则，除按规定罚款外，另视其情节轻重给予处分。

7. 有故障仪器需更换时，应报告并由指导老师解决，不允许乱动仪器设备。对违反操作规程或擅自动用其他设备造成损坏者，由事故责任者做出书面检讨，视其认识程度和情节轻重，赔偿部分或全部损失。

8. 实验时应保持实验室和桌面的整洁。实验中的废酸、碱液一定要倒入相应的器皿内，制成品要交指导教师收回。有毒废弃物必须交给老师处理，不得乱倒，否则引起的不良后果由自己负责。

9. 实验完毕，将玻璃仪器等洗涤干净，放回原处。整理桌面，打扫水槽和地面卫生。

10. 实验结束，对实验中出现的现象和问题进行认真讨论，并及时完成实验报告，交指导教师批阅。

（覃永余）

第三章 无机化学实验常用的仪器和基本操作技术

第一节 称量仪器的使用

天平是无机化学实验中常用的称量药品质量的主要精密衡量仪器。正确的称量是得到准确测定结果的基本保证。因此，必须了解天平的构造并掌握正确的使用方法。

常用的天平有托盘天平、分析天平等。各种天平在构造和使用方法上有些不同，但其构造的基本原理是相同的。电子天平是近年来发展起来的最新一代天平。本书主要介绍托盘天平和分析天平的构造和称量操作。

一、托盘天平

（一）天平的种类及称量原理

化学实验要经常进行称量，重要的称量仪器是天平，常用的有托盘天平（又称为台称，用于精确度要求不高的称量，可以称准至 0.1g）、扭力天平（可称准至 0.01g）和分析天平（可以准确至 0.0001g 甚至更精确）等。在称量时，应根据实验对于称量准确度的不同要求，选取不同类型的天平。

虽然天平的类型不同，但基本原理都是一样的，即都是根据杠杆原理设计的。如图 3-1 所示，杠杆 ABC 中，B 是支点，A，C 两点所受的力分别为 F_1，F_2，当平衡时，支点两端力矩相等，即：

$F_1L_1 = F_2L_2$，$F=mg$，则 $m_1gL_1 = m_2gL_2$，天平等臂 $L_1=L_2$，则 $m_1=m_2$。

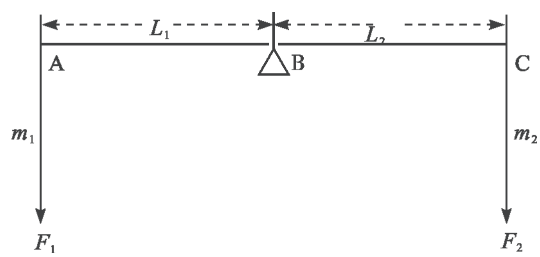


图 3-1 等臂天平

也就是说等臂天平称重达平衡时，被称物质量 m_1 等于砝码质量 m_2。

上述不同的天平由于制造时采用的材质、等臂的准确程度、刀口的受阻情况及砝码的准确度不同，因此精确度也不同。

（二）托盘天平

托盘天平（图 3-2）主要由台秤座和横梁两部分组成，横梁以一个支点架在台称

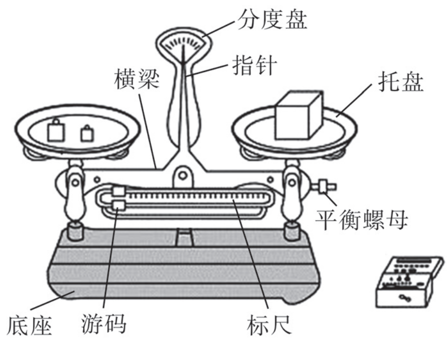


图 3-2　托盘天平

座上，左右各有一个盘子，中部有指针和分度盘，根据指针在刻度前的摆动情况，可以看出托盘的平衡状态。使用托盘天平称量时，可按下列步骤进行：

1. 零点调整　在称量前，将砝码游标拨到游码尺的“0”位处，检查托盘天平指针是否停在分度盘上中间的位置。如果不在中间位置，可通过调节托盘下的螺丝，使指针正好停在刻度盘的中间位置。

2. 物品称量

（1）若是带游码标尺的托盘天平，称量物品应放在左盘，砝码放在右盘。

（2）先加大砝码，再加小砝码，最后由游码（或更小的砝码）调节至托盘天平指针正好指向中间位置（或指针在刻度尺左右摇摆的距离几乎相等）为止。

（3）记下砝码或游码的数值，至托盘天平最小称量的位数（如最小称量为 0.1g，则记准至小数点后 1 位），即为所称物品重量。

（4）称量后应将砝码放回砝码盒，游码退回刻度为“0”处，取出盘中物品。

（5）注意不能用手拿取砝码，应用镊子摄取。不能将药品直接放在称量盘中，应放在称量纸或干净的玻璃容器中。不能称量热的物品。

（6）应保持托盘天平的整洁，药品撒在托盘天平上后应立即清除。

二、电子天平

电子天平是最新一代的天平，是基于电磁学原理制造的，有顶部承载式（吊挂单盘）和底部承载式（上皿式）两种结构。一般的电子天平都装有小电脑，具有数字显示、自动调零、自动校正、扣除皮重、输出打印等功能，有些产品还具备数据贮存与处理功能。其特点是称量准确可靠、显示快速清晰并且具有自动检测系统、简便的自动校准装置以及超载保护装置等。目前广泛应用于企业和实验室，用来测定物体的质量。电子天平种类繁多，其基本构造原理都是相同的。

（一）电子天平及其分类

按电子天平的精度可分为以下几类：

1. 超微量电子天平　超微量天平的称量范围是2~5g，其标尺分度值小于（最大）称量的10^{-6}，如Mettler的UMT2型电子天平。

2. 微量天平　微量天平的称量范围一般为3~50g，其分度值小于（最大）称量的10^{-5}，如Mettler的AT21型电子天平以及Sartoruis的S4型电子天平。

3. 半微量天平　半微量天平的称量范围一般为20~100g，其分度值小于（最大）称量的10^{-5}，如Mettler的AE50型电子天平和Sartoruis的M25D型电子天平等均属于此类。

4. 常量电子天平　此种天平的称量范围一般为100~200g，其分度值小于（最大）称量的10^{-5}，如Mettler的AE200型电子天平和Sartoruis的A120S、A200S型电子天平均属于常量电子天平。

电子分析天平是常量天平、半微量天平、微量天平和超微量天平的总称，精密电子天平是准确度级别为Ⅱ级的电子天平的统称。

电子天平按结构可分为上皿式和下皿式两种。称盘在支架上面为上皿式，称盘吊挂在支架下面为下皿式。目前，广泛使用的是上皿式电子天平。

（二）电子天平操作前的注意事项

1. 电子天平选择的电压挡，应与使用处的外接电源电压相符。

2. 电子天平应处于水平状态。

3. 电子天平应按说明书的要求进行预热。

4. 称量易挥发和具有腐蚀性的物品时，要盛放在密闭的容器内，以免腐蚀和损坏电子天平。

5. 天平室内温湿度应恒定，温度应在20℃，湿度应在50%左右。

6. 对天平进行校正，使其达到最佳状态。

7. 使用前一定要仔细阅读说明书。

（三）操作电子天平的主要步骤

下面对照电子天平结构示意图（图3-3），简要介绍电子天平的使用方法。

1. 接通电源并预热使天平处于备用状态。

2. 打开天平开关（按操纵杆或开关键），使天平处于零位，否则按去皮键。

3. 放上器皿，读取数值并记录，用手按去皮键清零，使天平重新显示为零。

4. 在器皿内加入样品至显示所需重量时为止，记录读数，如有打印机可按打印键完

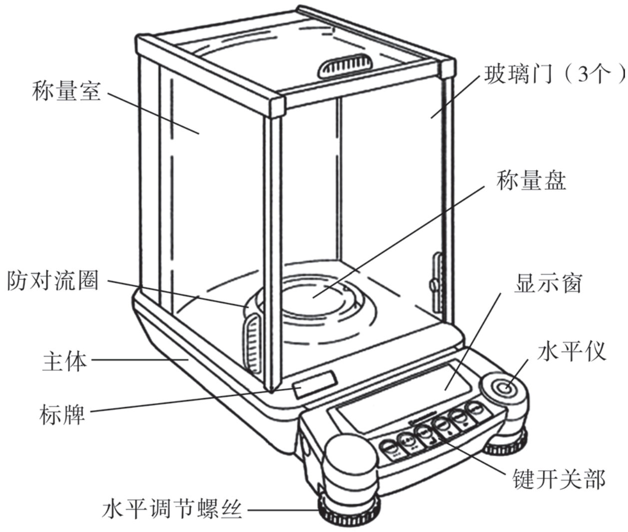


图 3-3　电子天平

成打印。

5. 将器皿连同样品一起拿出。

6. 按天平去皮键清零，以备再用。

电子天平常用的功能键：“ON”开启，“OFF”关闭，“TAR”清零（去皮），“CAL”校准。

7. 注意事项。

（1）水平调节　观察水平仪，如水平仪水泡偏移，需调整水平调节脚，使水泡位于水平仪中心。

（2）预热　接通电源，预热至规定时间后，开启显示器进行操作。

（3）开启显示器　轻按“ON”键，显示器全亮，约 2 秒后显示天平型号，然后是称量模式 0.0000g。读数时应关上天平门。

（4）天平基本模式的选定　天平通常为“通常情况”模式，并具有断电记忆功能。使用时若改为其他模式，使用后一经按“OFF”键，天平即恢复通常情况模式。称量单位的设置等可按说明书进行操作。

（5）校准　天平安装后，第一次使用前，应对天平进行校准。如果存放时间较长、位置移动、环境变化或未获得精确测量，天平在使用前一般都应进行校准操作。本天平采用外校准（有的电子天平具有内校准功能），由“TAR”键清零及“CAL”键、100g 校准砝码完成。

（6）称量　按“TAR”键，显示为零后，置称量物于称盘上，待数字稳定即显示器左下角的“0”标志消失后，即可读出称量物的质量值。

（7）去皮称量　按“TAR”键清零，置容器于称盘上，天平显示容器质量，再按“TAR”键，显示零，即去除皮重。再置称量物于容器中，或将称量物（粉末状物或液体）逐步加入容器中直至达到所需质量，待显示器左下角“0”消失，这时显示的是称量物的净质量。将称盘上的所有物品拿开后，天平显示负值，按“TAR”键，天平显示 0.0000g。若称量过程中称盘上的总质量超过最大载荷（FA1604 型电子天平为 160g）时，天平仅显示上部线段，此时应立即减小载荷。

（8）称量结束　实验全部结束后，关闭显示器，切断电源，若短时间（例如 2 小时）内还使用天平，可不必切断电源，再用时可省去预热时间。若当天不再使用天平，应拔下电源插头。

（四）电子天平的维护

1. 经常保持天平室内的环境卫生，更要保持天平称量室的清洁，一旦物品撒落应及时小心清除干净。

2. 经常对电子天平进行自校或定期外校，保证天平灵敏度等处于最佳状态。

3. 长期不用天平时，应收藏好。

4. 如果电子天平出现故障，应及时检修。

5. 操作天平不可过载使用，以免损坏天平。

（五）电子天平的校准

在检定（测试）中发现，天平进行首次计量测试时误差较大，究其原因，是相当一部分仪器在较长的时间间隔内未进行校准，而且一些人认为天平显示零位便可直接称量。（需要指出的是，电子天平开机显示零点，不能说明天平称量的数据准确度符合测试标准，只能说明天平零位稳定性合格。因为衡量一台天平合格与否，还需综合考虑其他技术指标的符合性）。因存放时间较长，位置移动，环境变化或为获得精确测量，天平在使用前一般都应进行校准操作。校准方法分为内校准和外校准两种。德国产的沙特利斯、瑞士产的梅特勒、上海产的“JA”等系列电子天平均有校准装置。如果使用前不仔细阅读说明书，则很容易忽略校准操作，造成较大称量误差。

校准方法：轻按“CAL”键，当显示器出现“CAL-”时，即松手，显示器就出现“CAL-100”，其中“100”为闪烁码，表示校准砝码需用 100g 的标准砝码。此时就把准备好的 100g 校准砝码放上称盘，显示器即出现“——”等待状态，经较长时间后显示器出现 100.000g，拿去校准砝码，显示器应出现 0.000g，若出现的不是零，则再清零，并重复以上校准操作（注意：不同厂家生产的电子天平校准方式有所差异，实际使用时以说明书为准）。

（六）电子天平常见故障及排除方法（表 3-1）

表 3-1　电子天平常见故障及排除方法

故障	原因	排除方法
显示器无任何显示	· 无工作电压 · 未接变压器	· 检查供电线路及仪器 · 将变压器接好
在调整校正之后，显示器无显示	· 放置天平的表面不稳定 · 未达到内校稳定	· 确保放置天平的场所稳定 · 防止振动对天平支撑面的影响 · 关闭防风罩
显示器显示“H”	· 超载	· 为天平卸载
显示器显示“L”或“Err 54”	· 未装称盘或底盘	· 依据电子天平的结构类型，装上称盘或底盘
称量结果不断改变	· 振动太大，天平暴露在无防风措施的环境中	· 通过“电子天平工作菜单”采取相应措施
称量结果明显错误	· 防风罩未完全关闭 · 在称盘与天平壳体之间有一杂物 · 吊钩称量开孔封闭盖板被打开 · 被测物重量不稳定（吸潮气或蒸发） · 被测物带静电荷 · 电子天平未经调校 · 称量之前未清零	· 完全关闭防风罩 · 清除杂物 · 关闭吊钩称量开孔 · 对天平进行调校 · 称量前清零

（石灵高）

第二节　常用玻璃仪器及其洗涤和干燥

一、常用玻璃仪器的介绍

玻璃仪器按玻璃的性质不同可以简单地分为软质玻璃仪器和硬质玻璃仪器两类。软质玻璃承受温差的性能、硬度和耐腐蚀性都比较差，但透明度比较好，一般用来制造不需要加热的仪器，如试剂瓶、漏斗、量筒、吸管等。硬质玻璃具有良好的耐受温差变化的性能，用它制造的仪器可以直接用灯火加热，这类仪器耐腐蚀性强、耐热性能以及耐冲击性能都比较好，常见的烧杯、烧瓶、试管、蒸馏器和冷凝管等都用硬质玻璃制作。

玻璃仪器按用途分，可以分为容器类、量器类和其他常用器皿三大类。

（一）烧杯

常用的烧杯有低型烧杯、高型烧杯、三角烧杯等三种，主要用于配制溶液，煮沸、蒸发、浓缩溶液，进行化学反应以及少量物质的制备等（图 3-4）。烧杯用硬质玻璃制造，它可承受 500℃以下的温度，可直接在火焰上或隔石棉网

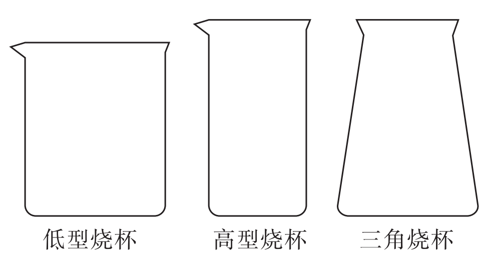


图 3-4　常见烧杯

加热，也可选用水浴、油浴或砂浴等加热方式。烧杯的规格从 25ml 至 5000ml 不等。

（二）烧瓶

烧瓶主要用于加热煮沸，以及物质间的化学反应，常用的有平底烧瓶、圆底烧瓶、三角烧瓶和定碘烧瓶（图 3–5）。平底烧瓶不能直接用火加热，圆底烧瓶可以直接用火加热，但两者都不能骤冷，通常在热源与烧瓶之间加隔石棉网。三角烧瓶也称锥形瓶，加热时可避免液体大量蒸发，反应时便于摇动，在滴定操作中经常用它作容器。定碘烧瓶主要用于碘法的测定中，也用于须严防液体蒸发和固体升华的实验，但加热或冷却瓶内溶液时应将瓶塞打开，以免因气体膨胀或冷却使塞子冲出或难取下。

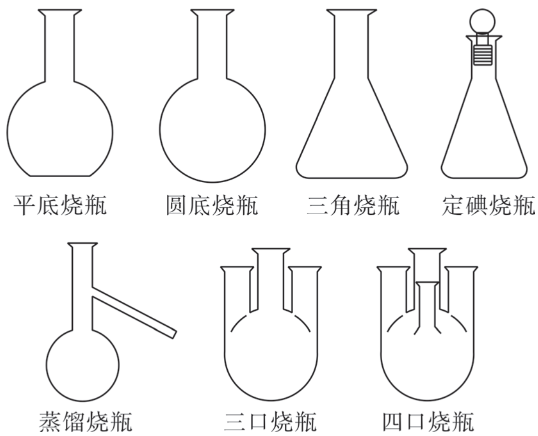


图 3–5　常见烧瓶

蒸馏烧瓶是供蒸馏使用的，蒸馏常用的还有三口烧瓶和四口烧瓶。

（三）分馏管、冷凝管和接管

分馏管也称分馏柱或分凝器，主要用于分馏操作。常见的分馏管有无球分馏管、一球分馏管、二球分馏管、三球分馏管、四球分馏管和刺形分馏管（图 3–6）。

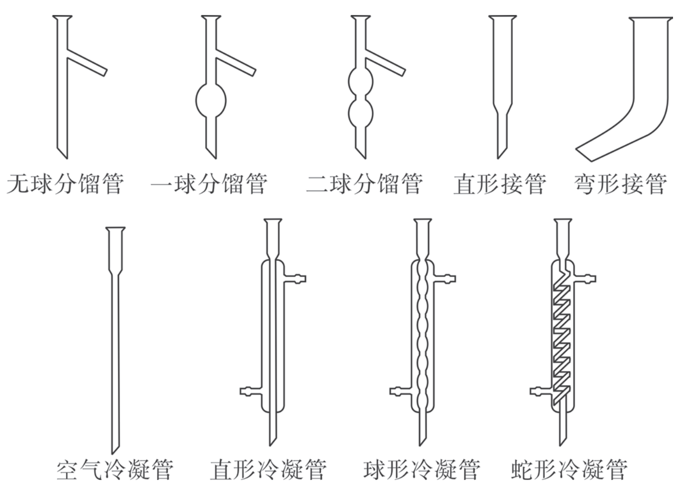


图 3–6　常见分馏管、冷凝管和接管

冷凝管也称冷凝器，供蒸馏操作中冷凝用。常见的冷凝管有空气冷凝管、直形冷凝管、球形冷凝管、蛇形冷凝管、直形回流冷凝管和蛇形回流冷凝管。

接管是蒸馏时连接冷凝管用的，常见的有直形接管和弯形接管。

（四）试管、离心管和比色管

试管主要用作少量试剂的反应容器，常用于定性试验（图 3-7）。试管可直接用灯火加热，加热后不能骤冷。试管内盛放的液体量，如果不需要加热，不要超过 1/2；如果需要加热，不要超过 1/3。加热试管内的固体物质时，管口应略向下倾斜，以防凝结水回流至试管底部而使试管破裂。离心试管用于定性分析中的沉淀分离。常见的试管有普通试管、具支试管、刻度试管、具塞试管、尖底离心管、尖底刻度离心管和圆底刻度离心管等。

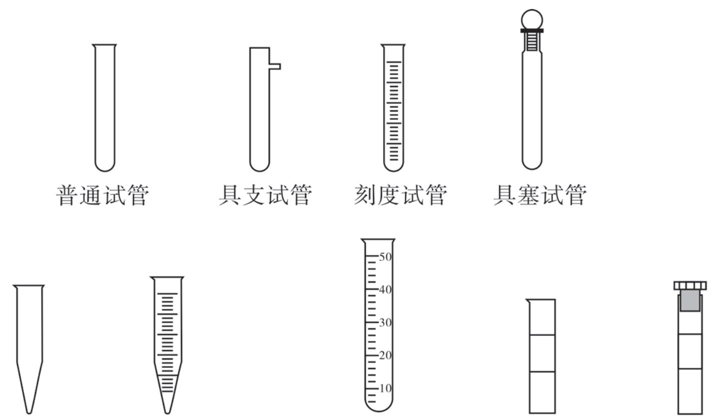


图 3-7　常见试管、离心管和比色管

比色管主要用于比较溶液颜色的深浅，用于快速定量分析中的目视比色。比色管有开口和具塞两种。

（五）干燥器

干燥器的中下部口径略小，上面放置带孔的瓷板，瓷板上放置待干燥的物品，瓷板下面放有干燥剂（图 3-8）。常用的干燥剂有 P_2O_5、碱石灰、硅胶、$CaSO_4$、CaO、$CaCl_2$、$CuSO_4$、浓硫酸等。固态干燥剂可直接放在瓷板下面，液态干燥剂放在小烧杯中，再放到瓷板下面。

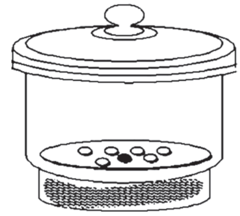


图 3-8　干燥器

干燥器主要用于保持固态、液态样品或产物的干燥，也用来存放需防潮的小型贵重仪器和已经烘干的称量瓶、坩埚等。使用干燥器时，要沿边口涂抹一薄层凡士林研合均匀至透明，使顶盖与干燥器本身保持密合，不致漏气。开启顶盖时，应稍稍用力使干燥器顶盖向水平方向缓缓错开，取下的顶盖应翻过来放稳。

热的物体应冷却到略高于室温时，再移入干燥器内。

干燥器直径从100mm至500mm不等。干燥器洗涤过后，要吹干或风干，切勿用加热或烘干的方法去除水气。久存的干燥器或室温低，顶盖打不开时，可用热毛巾或暖风吹化开启。

（六）试剂瓶

试剂瓶用于盛装各种试剂。常见的试剂瓶有小口试剂瓶、大口试剂瓶和滴瓶；附有磨砂玻璃片的大口试剂瓶常作集气瓶（图3-9）。试剂瓶有无色和棕色之分，棕色瓶用于盛装应避光的试剂。小口试剂瓶和滴瓶常用于盛放液体药品，大口试剂瓶常用于盛放固体药品。试剂瓶又有磨口和非磨口之分，一般非磨口试剂瓶用于盛装碱性溶液或浓盐溶液，使用橡皮塞或软木塞；磨口的试剂瓶盛装酸、非强碱性试剂或有机试剂，瓶塞不能调换，以防漏气。若长期不用，应在瓶口和瓶塞间加放纸条，便于开启。试剂瓶不能用火直接加热，不能在瓶内久贮浓碱、浓盐溶液。

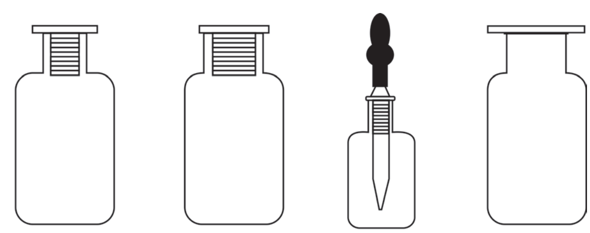


图3-9　常见试剂瓶

（七）过滤瓶

过滤瓶也称抽滤瓶，主要供晶体或沉淀进行减压过滤用（图3-10）。

（八）称量瓶

称量瓶主要用于使用分析天平时称取一定量的试样，不能用火直接加热，瓶盖是磨口的，不能互换。称量瓶有高型和扁型两种（图3-11）。

（九）表面皿和蒸发皿

表面皿主要用作烧杯的盖，防止灰尘落入和加热时液体迸溅等。表面皿不能直接用火加热。

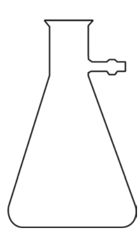


图3-10　过滤瓶

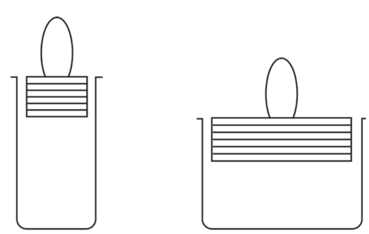


图3-11　称量瓶

蒸发皿有平底和圆底两种形状（图 3–12），主要用于使液体蒸发，能耐高温，但不宜骤冷。蒸发溶液时一般放在石棉网上加热，如液体量多，可直接加热，但液体量以不超过深度的 2/3 为宜。

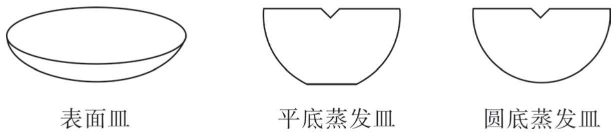


图 3–12　表面皿和蒸发皿

（十）研钵

研钵主要用于研磨固体物质，有玻璃研钵、瓷研钵、铁研钵和玛瑙研钵等（图 3–13）。玻璃研钵、瓷研钵适用于研磨硬度较低的物料，硬度大的物料应用玛瑙研钵。研钵不能用火直接加热。

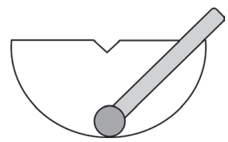


图 3–13　研钵

（十一）漏斗

主要用于过滤操作和向小口容器倾倒液体（图 3–14）。常见的有 60° 角短管标准漏斗、60° 角长管标准漏斗、筋纹漏斗和圆筒形漏斗。筋纹漏斗内壁有若干凹筋，可以提高过滤速度。

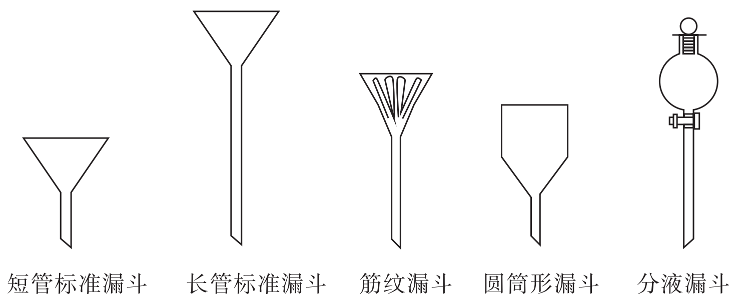


图 3–14　常见漏斗

分液漏斗主要用于互不相溶的两种液体分层和分离，常见的有厚料球形、球形、梨形、梨形刻度、筒形和筒形刻度等类型。球形分液漏斗适用于萃取分离操作；梨形分液漏斗除用于分离互不相溶的液体外，在合成反应中常用来随时加入反应试液。有刻度梨形和筒形漏斗常用于控制加液速度。

（十二）量筒和量杯

量筒和量杯主要用于量取一定体积的液体（图 3–15）。在配制和量取浓度和体积不要求很精确的试剂时，常用它来直接量取溶液。

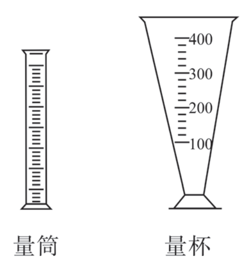
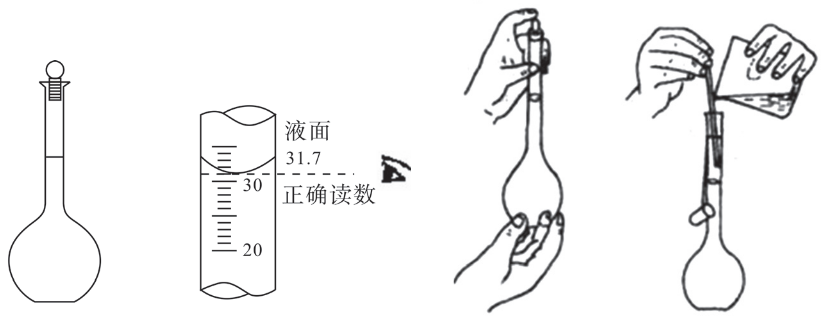


图 3–15　常见量筒和量杯

（十三）容量瓶

容量瓶用于配制体积要求准确的溶液，或作溶液的定量稀释（图 3–16）。容量瓶不能加热，瓶塞是磨口的，不能互换，以防漏水。容量瓶有无色和棕色之分，棕色瓶用于配制需要避光的溶液。

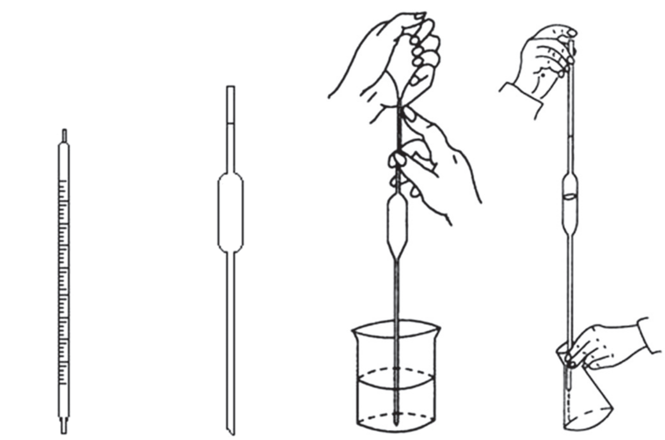


容量瓶　视线与度量的关系　容量瓶的拿法　溶液从烧杯转移到容量瓶

图 3–16　常见容量瓶

（十四）移液管

移液管也叫吸管，用于准确移取一定体积的液体（图 3–17）。常见的有刻度移液管和单标记移液管。



刻度移液管　单标记移液管　吸取溶液　放出溶液

图 3–17　常见移液管

（十五）滴定管

滴定管是滴定时使用的精密仪器，用来测量自管内流出溶液的体积，有常量和微量滴定管之分（图 3–18）。常量滴定管有酸式和碱式两种，酸式滴定管用来盛盐酸、氧化剂、还原剂等溶液；碱式滴定管用来盛碱溶液。滴定管有无色和棕色之分，无色的滴定管又有带蓝线和不带蓝线两种。

（十六）标准磨口仪器

所谓标准磨口仪器，是指标准磨塞和标准磨口的直径都采用国际通用的统一尺寸，

其锥度比例均为 1/10，由硬质玻璃制成。同类规格的标准磨口仪器可任意互换。这类仪器的品种有：烧瓶、过滤瓶、冷凝管、接管、蒸馏头、分液漏斗等，使用时可查阅有关资料。

使用标准磨口仪器，口与塞对合后，不要在干态下转动摩擦，以免损伤磨面。

（十七）酒精灯

酒精灯是常用的加热器具，带一磨口的玻璃罩或塑料罩（图 3–19）。

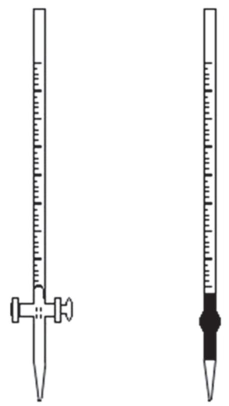


图 3–18　常见滴定管

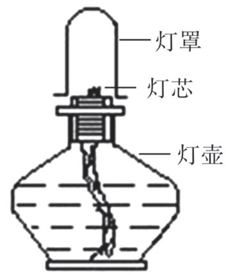


图 3–19　酒精灯

二、常用玻璃仪器的洗涤和干燥

（一）仪器的洗涤

化学实验室经常使用各种玻璃仪器，而这些仪器是否干净，常常影响到实验结果的准确性，所以应该保证所使用的仪器是很干净的。“干净”两字的含义比我们日常生活中所说干净程度要求要高，主要是指“不含有妨碍实验准确性的杂质”的意思。一般来说，玻璃仪器洗干净后，内壁附着的水均匀，既不聚集成滴，也不成股流下。

洗涤玻璃仪器的方法很多，应根据实验的要求、污物的性质和沾污的程度来选用。一般说来，附着在仪器上的污物既有可溶性物质，也有尘土和其他不溶物质，还有油污和有机物质。针对这种情况，可以分别采用下列洗涤方法：

1. 直接使用自来水刷洗　用自来水冲洗对于水溶性物质以及附在仪器上的尘土及其他不溶物的除去有效，但难以除去油污及某些有机物。

对于某些有机污染物，则应选取相应的有机溶剂洗涤。

2. 用去污粉、肥皂或合成洗涤剂刷洗　肥皂和合成洗涤剂的去污原理已众所周知，不必重述。去污粉是由碳酸钠、白土、细沙等混合而成的。使用时，首先用自来水浸泡润洗，加入少量去污粉，用毛刷刷洗污处，最后再用自来水冲洗干净，必要时用蒸馏水冲洗 2~3 次。

注意：使用毛刷刷洗试管时，应将毛刷顶端的毛顺着伸入到试管中，用食指抵住试

管末端，来回抽拉毛刷进行刷洗，不可用力过大，也不要同时抓住几只试管一起刷洗。

碳酸钠是一种碱性物质，具有强的去污能力，而细沙的摩擦作用以及白土的吸附作用则增强了仪器清洗的效果。待仪器的内外器壁都经过仔细的擦洗后，用自来水冲去仪器内外的去污粉，要冲洗到没有细微的白色颗粒状粉末留下为止。最后，用蒸馏水冲洗仪器内壁三次，把自来水中带来的钙、镁、铁、氯等离子洗去，洗涤应坚持少量多次原则。

3. 用洗液洗　在进行精确定量实验时，或者所使用的仪器口径小、管细、形状特殊时，应该用洗液洗涤。洗液具有强的酸碱性、强氧化性、去油污和有机物的能力较强的特性，但对衣物、皮肤、桌面及橡皮的腐蚀性也较强，使用时应小心。

具体做法：先将仪器用自来水刷洗，倒净其中的水，加入少量洗液，转动仪器使内壁全部为洗液所浸润，一段时间后，将洗液倒回原瓶。仪器先用自来水冲洗，再用蒸馏水冲洗 2~3 次。

使用洗液时注意：①洗液为强腐蚀性液体，应注意安全；②洗液吸水性强，用完后应立即将洗液瓶子盖严；③洗液可反复使用，但是若洗液变为绿色（重铬酸钾还原成硫酸铬的颜色）时即失效，不能再使用。

能用别的洗涤方法洗干净的仪器，就不要用铬酸洗液洗，因为它具有毒性，流入下水道后对环境有严重污染。

4. 用蒸馏水（或去离子水）淋洗　经过上述方法洗涤的仪器，仍然会沾附有来自自来水中的钙、镁、氯、铁等离子，因此必要时应该用蒸馏水（或去离子水）淋洗内部 2~3 次。

洗涤仪器时，应注意按照少量多次的原则，尽量地将仪器洗涤干净；洗涤干净的仪器内外壁上不应附着不溶物、油污，仪器可被水完全润湿，将仪器倒置水即沿器壁流下，器壁上留下一层既薄又均匀的水膜，不挂水珠。

在实验中应根据实际情况和实验内容来决定洗涤程度，如在进行定量实验中，由于杂质的引进会影响实验的准确性，因此对仪器的洁净程度要求较高。对于一般的无机制备实验或者定性实验等，对仪器的洁净程度的要求相对较低，只要洗刷干净，用不着要求不挂水珠，也没有必要用蒸馏水洗涤。

为了避免有些污染难以洗去，要求当实验完毕后立即将所用仪器洗涤干净，养成一种用完立即洗净的习惯。凡是洗净的仪器，决不能再用布或纸擦拭。否则，至少布或纸的纤维将会留在器壁上而沾污仪器。

（二）沉淀垢迹的洗涤

一些不溶于水的沉淀垢迹经常牢固地黏附在仪器的内壁，需要根据沉淀的性质选用合适的试剂，用化学方法除去。表 3-2 介绍了几种常见垢迹的处理方法。

表 3-2　常见垢迹的化学处理方法

垢迹类别	处理方法	垢迹类别	处理方法
MnO_2，$Fe(OH)_3$ 或碱土金属的碳酸盐银、铜等难溶银盐	盐酸（MnO_2需用浓盐酸）、硝酸一般用硫代硫酸盐、AgS 可用热浓硝酸	不溶于水及酸碱的有机物煤焦油 $KMnO_4$ 硫磺	相应有机溶剂煮沸石灰水浓碱浸泡稀草酸溶液

（三）洗涤液的配制

1. 铬酸洗涤液（简称洗液）　将 25g $K_2Cr_2O_7$ 溶于 50ml 水中，冷却后向此溶液中慢慢加入浓硫酸至 1000ml。

2. 碱性高锰酸碱洗涤液　将 4g 高锰酸钾溶于 5ml 水中，再加入 95ml10% 的氢氧化钠溶液混合即得。

（四）仪器的干燥

仪器干燥的方法很多，但要根据具体情况选用具体的方法：

1. 晾干　不急用的仪器（或每次实验完毕后），将洗涤干净的仪器倒置于干燥的仪器柜中或仪器架上任其自然干燥。

2. 烤干　将洗涤干净的烧杯、蒸发皿等放置于石棉网上，用小火烤干；试管可直接烤干，在烤干试管过程中，开始要将试管口向下倾斜，以免水滴倒流导致试管炸裂，火焰也不要集中于一个部位，先从底部开始加热，慢慢移至管口，反复数次直至无水滴，最后将管口向上将水汽赶干净。

3. 吹干　利用电吹风吹干。

4. 烘干　将干净的仪器尽量倒干水后放入电热烘干箱烘干（控温 105℃左右），放入烘箱的仪器口朝上，或在烘箱下层放一瓷盘，接受滴下的水珠。注意木塞、橡皮塞不能与玻璃仪器一同干燥，玻璃塞也应分开干燥。

5. 有机溶剂快速干燥　带有刻度的计量仪器不能用加热的方法干燥，因此和一些急需用的仪器一样，采用有机溶剂快速干燥法干燥：将易挥发的有机溶剂（如乙醇、丙酮等）少量加入到已经用水洗干净的玻璃仪器中，倾斜并转动仪器，使水与有机溶剂互溶，然后倒出，同样操作两次后，再用乙醚洗涤仪器后倒出，自然晾干或用电吹风吹干。

（蒙衍强）

第三节　化学试剂的取用和混匀

一、化学试剂的取用

（一）化学试剂的等级标志和符号

化学试剂按纯度可分为五级，如表 3-3 所示。

表 3–3　化学试剂的等级标志和符号

级别	一级品	二级品	三级品	四级品	五级品
标志	保证试剂优级纯	分析试剂分析纯	化学纯	实验试剂	生物试剂
代号	G.R.	A.R.	C.P.	L.R.	B.R. 或 C.R.
瓶签颜色	绿色	红色	蓝色	棕色	黄色

试剂等级不同，价格相差很大。因此应根据需要选用试剂，不能认为使用的试剂越纯越好，这需要有相应的纯水及仪器与之配合才能发挥试剂的纯度作用。一些要求不高的试剂，例如配制铬酸洗液的浓硫酸及重铬酸钾，作为燃料及一般溶剂的乙醇等都应使用低廉的工业品。

（二）化学试剂的包装规格

化学试剂的包装单位是根据化学试剂的性质、纯度、用途和它们的价值而确定的。包装单位的规格是指每个包装容器内盛装化学试剂的净重或体积，一般固体试剂为 500g 一瓶，液体试剂为 500ml 一瓶。国产化学试剂规定为五类包装。

第一类为稀有元素，是超纯金属等贵重试剂。由于稀有元素价值高昂，包装规格分为 0.1g（或 0.1ml）、0.25g（或 0.25ml）、0.5g（或 0.5ml）、1g（或 1ml）、5g（或 5ml）等五种。

第二类为指示剂、生物试剂及供分析标准用的贵重金属元素试剂。由于价值较高，包装规格有 5g（或 5ml）、10g（或 10ml）、25g（或 25ml）三种。

第三类为基准试剂或较贵重的固体或液体试剂，包装规格为 25g（或 25ml）、50g（或 50ml）、100g（或 100ml）三种。

第四类为各实验室广泛使用的化学试剂，一般为固体或有机液体的化学试剂，包装规格为 250g（或 250ml）、500g（或 500ml）两种。

第五类为酸类试剂及纯度较差的实验试剂，包装规格为 0.5kg（或 0.5L）、1kg（或 1L）、2.5kg（或 2.5L）、5kg（或 5L）等。

（三）化学试剂的取用

1. 液体试剂的取法　液体试剂通常盛在细口的试剂瓶中。见光容易分解的试剂如硝酸银应盛在棕色瓶中。每个试剂瓶上都必须贴上标签，并标明试剂的名称和浓度。

（1）从磨口试剂瓶取用试剂的方法　取下瓶塞把它仰放在台上。用左手的大拇指、食指和中指拿住容器（如试管、量筒等）。用右手拿起试剂瓶，并注意使试剂瓶上的标签对着手心，倒出所需量的试剂。倒完后，应该将试剂瓶口在容器上靠一下，再使瓶子竖直，这样可以避免遗留在瓶口的试剂从瓶口流到试剂瓶的外壁。倒完试剂后，瓶塞须立刻盖在原来的试剂瓶上，把试剂瓶放回原处，并使瓶上的标签朝外。

（2）从滴瓶中取用少量试剂的方法　提起滴管，使管口离开液面。用手指紧捏滴

管上部的橡皮胶头，赶出滴管中的空气，然后把滴管伸入试剂瓶中，放开手指，吸入试剂。再提起滴管，将试剂滴入试管或烧杯中（图 3–20）。定性分析时，不需要用量具准确量取药品，一般滴管的一滴液体约为 0.05ml，即 1ml 约为 20 滴。

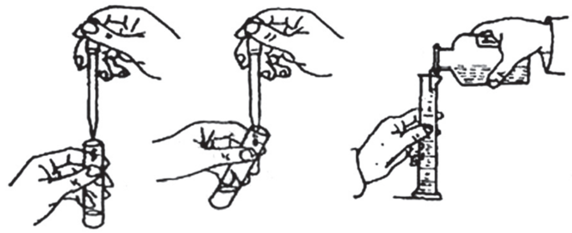


图 3–20　试剂的取用

（3）定量取用试剂时可使用量筒或移液管，多余的试剂不能倒回原瓶，可倒入指定容器内供他人使用（图 3–20）。

2. 固体试剂的取法

（1）固体试剂一般都用药匙取用。药匙的两端为大小两个匙，取大量固体时用大匙，取少量固体时用小匙（取用的固体要加入小试管里时，也必须用小匙）。使用的药匙，必须保持干燥而洁净。取出试剂后应立即盖紧瓶盖，不要盖错盖子（图 3–21）。

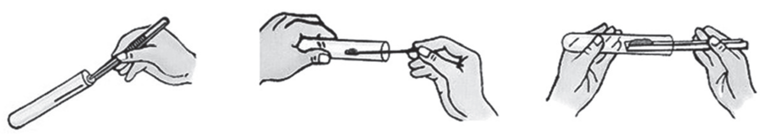


图 3–21　固体试剂的取用

（2）一般的固体试剂可以放在干净的纸或表面皿上称量。具有腐蚀性、强氧化性或易潮解的固体试剂不能在纸上称量。不准使用滤纸来盛放称量物。

（3）有毒药品要在教师指导下取用。

二、混匀

样品与试剂的混匀是保证反应充分进行的一种有效措施，为使反应体系内各物质迅速地互相接触，必须借助于外加的机械力。混匀时须防止试管内液体溅出或被污染，并严禁用手指堵塞试管口或三角烧瓶口振摇。

1. 振摇混匀法　适用于三角烧瓶中未盛满的液体的混匀，如酸碱滴定和固体试剂的溶解混匀等。如需长时间振摇，就要使用震荡机，使用震荡机时，注意被震荡的容器必须仔细夹紧。

2. 玻棒搅拌　适用于烧杯内容物的混匀，如固体试剂的溶解混匀。

3. 倒转混匀法　适用于有塞量筒和容量瓶内容物的混匀。由于容量瓶的瓶径部细长，倒转后应旋转多次，并反复倒转几次。

4. 弹指混匀法　适用于试管内容物的混匀。

5. 吸管混匀法　用吸管将溶液反复吸放数次，使溶液充分混匀。此法适用于量少而无沉淀的液体。

6. 倾注混匀法　如在量筒中配制试剂，加蒸馏水至刻度后，应倾注于另一器皿中，再倒回量筒，如此反复数次，才能混匀。

7. 电动搅拌混匀法　对于多相体系需要搅拌，使用的仪器叫搅拌器。简单的搅拌器可用玻璃棒制作。搅拌器通常用电动机驱动。开始搅拌前，用手转动搅拌器看它是否转动灵活，是否碰撞器壁或温度计。

8. 电磁搅拌混匀法　在电磁搅拌机上放置烧杯，在烧杯内存放封闭于玻璃或塑料管中的小铁棒，利用磁力使小铁棒旋转以达到混匀烧杯中液体的目的。此法适用于酸碱自动滴定、pH 梯度滴定等。

（马冬冬）

第四节　保温、加热和冷却操作

实验室中常用的热源有酒精灯、酒精喷灯、电炉以及马福炉等。

一、酒精灯与酒精喷灯

1. 酒精灯　酒精灯是实验室最常用的加热灯具，其供给温度为 400℃ ~500℃。酒精灯由灯罩、灯芯和灯壶三部分组成，灯罩上有磨口（图 3–22）。

使用时注意事项：

①壶内酒精少于其容积 1/4 时应添加酒精，添加酒精时须将灯熄灭，利用漏斗将酒精加入到灯壶内，添加量最多不超过总容量的 2/3。（酒精量太少，灯壶中酒精蒸气过多，引起爆燃；量太多则受热膨胀，使酒精溢出而生事故）。

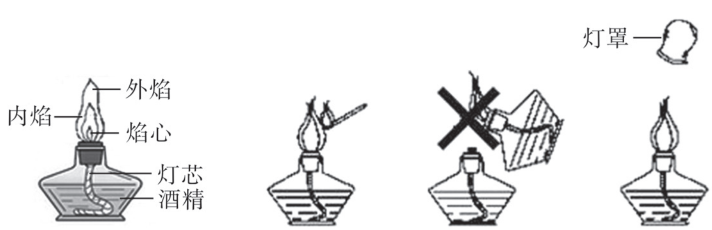


图 3–22　酒精灯及正确使用

②应使用火柴点燃酒精灯，决不能用点燃的酒精灯来点燃。

③熄灭酒精灯时，不要用嘴吹，将灯罩盖上即可，但注意当酒精灯熄灭后，要将灯罩拿下，稍作晃动赶走罩内的酒精蒸汽后盖上，以免引起爆炸（特别是在酒精灯使用时间过长时，尤其应注意）。

④在酒精灯不用时应盖上灯罩，以免酒精挥发。

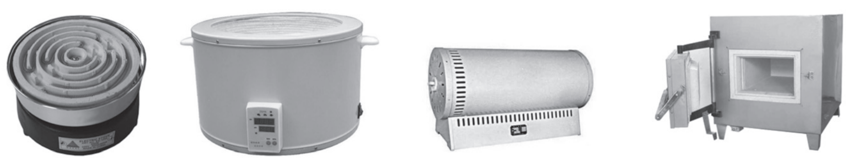
2. 酒精喷灯　酒精喷灯的温度可达 700℃~1000℃，用于需较高温度的时候（图 3-23）。使用时首先打开活塞，并在预热盒中加入酒精，点燃酒精加热灯管，待预热盒内酒精接近燃完时，将燃着的火柴移至灯口，同时开启开关，使酒精从灯座进入灯管，并受热汽化，与进气孔的空气混合并被点燃，调节开关，可控制火焰的大小。使用完毕关闭开关及活塞，火即被熄灭。



图 3-23　酒精喷灯

二、电炉、马福炉

根据需要，实验室还经常用到电炉、马福炉等加热设备（图 3-24）。电炉是一种利用电阻丝将电能转化为热能的装置，使用温度的高低可通过调节外电阻来控制，为保证容器受热均匀，使用时反应容器与电炉间利用石棉网相隔离。马福炉是利用电热丝或硅碳棒加热的密封炉子，炉膛是利用耐高温材料制成的，呈长方体。一般电热丝炉最高温度为 950℃，硅碳棒炉为 1300℃，炉内温度利用热电偶和毫伏表组成的高温计测量，并使用温度控制器控制加热速度。使用马福炉时，被加热物体必须放置在能够耐高温的容器（如坩埚）中，不要直接放在炉膛上，同时不能超过最高允许温度。



电炉　　电加热套　　管式电炉　　马福炉

图 3-24　常用高温电加热器

三、加热方法

1. 直接加热　当被加热的样品在高温下稳定而不分解，又无着火危险时，可使用直接加热法。使用烧杯、烧瓶加热液体样品时，容器外的水应擦干，同时在火源与容器之间应放置石棉网。在加热过程中，应适时搅拌，以防爆沸。在高温下加热固体样品时，可将固体样品放置于坩埚中，用氧化焰灼烧（图 3-25）。具体做法是：开始用小火烘烧坩埚，使其受热均匀，然后加大火焰，根据实验要求控制灼烧温度和时间，灼烧完毕后移去热源，冷却后（或用干净的坩埚钳夹着坩埚，放置于石棉网上冷却）备用。实验室进行灼烧实验时经常用到马福炉或管式电炉。

2. 用热浴间接加热　当被加热的样品易分解，温度变化易引起不必要的副反应时，就要求加热过程中受热均匀，而又不超过一定温度，使用特定热浴间接加热可满足此要求。如果要求反应温度不超过 100℃时，可利用水浴加热，有特制的电热水浴锅。

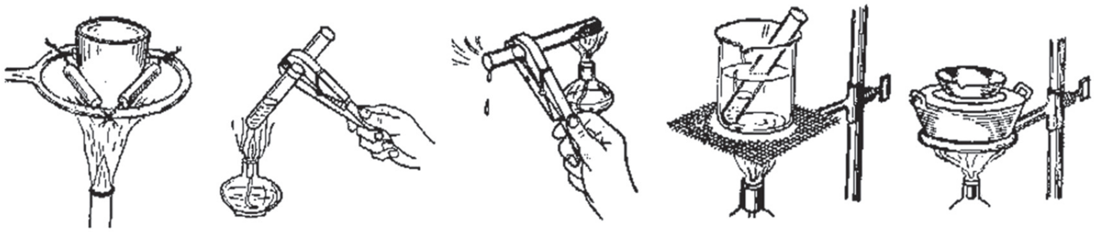


图 3–25　几种加热方法

在一般实验中，常使用大烧杯来代替水浴锅（图 3–25）。使用水浴锅时应注意：①被加热容器不要触及水浴的底部；②水浴中水的总量不要超过总容量的 2/3；③勿使水浴中水烧干（在水浴表面加入少量石蜡油可有效地阻止水分的快速蒸发）。

当用甘油、石蜡油代替水浴中的水时可得到相应的甘油浴和石蜡油浴（甘油浴可在 150℃以下加热，石蜡油浴可在 200℃以下温度加热），硅油浴可在近于 300℃温度下加热。油浴的优点是加热均匀、温度易于控制，但价格较高并且有一定的污染。将被加热容器的下部埋置于装于盘中的细沙中达到沙浴是另外一种加热方式，其特点是升温较缓慢，停止加热后散热也较慢，可用于需较高温度的样品的加热。

四、冷却

放热反应产生的热量，常使反应温度迅速提高，如控制不当，往往引起反应物的挥发，并可能引发副反应，甚至爆炸。为了将反应温度控制在一定的范围内，就需要适当的冷却，最简便的方法就是将盛有反应物的容器适时地浸入冷水浴中，可采用冷水、冰水、流动自来水或自然冷却等。采用冰水冷却时，冰块要弄得很碎，为了更好地移除热量，加入少量的水使成糊状。

如需较低温度的冷却可用冰 – 盐混合物，可冷至 –20℃。它是在碎冰中混入 1/3 重量的食盐制成的。把干冰（固体 CO_2）加到甲醇、丙醇及其他溶剂中（需要小心，要猛烈起泡），温度可降到 –78℃，见表 3–4。

表 3–4　几种不同的冰盐浴

盐类	100 份碎冰中盐的质量份数	能够达到的最低温度（℃）
NH_4Cl	35	–15
	50	–18
$NaNO_3$	33	–21
	100	–29
NaCl	125	–40
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	150	–49
	41	–19

如果上述的冷冻剂的效果都不理想，还可使用液氮，它可以冷却至 –196℃。

如果要长期保持低温，就要使用冰箱。放在冰箱内的容器要塞紧，否则水汽会在物质上凝结，放出的腐蚀性气体也会侵蚀冰箱，容器要做好标记。

干冰与丙酮（或乙醇）的混合物，最低可达到 –78℃的低温。

五、温度的测量

温度计是实验室中用来测量温度的仪器。其中利用物质的体积、电阻等物理性质与温度的函数关系制成的温度计为接触式温度计。测温时必须将温度计触及被测体系，使温度计和被测体系达成热平衡，二者温度相等，从而由被测物质的特定物理参数直接或间接地换成温度。如水银温度计就是根据水银的体积直接在玻管上刻以温度值的。每只温度计都有一定的测温范围，水银温度计可用于 –30℃ ~360℃；测量低于 –30℃，甚至于 –200℃温度区间的温度时，可以使用封在玻管中的不同的烃类化合物温度计；若要测量高温时可用热电偶或辐射高温计等来测量。

在利用温度计测量温度时应该注意：

1. 根据所测温度的高低选择合适的温度计，实验室中常用的水银温度计有 0℃ ~100℃、0℃ ~250℃、0℃ ~360℃三种规格，例如测量温度在 200℃左右时，最好选择 0℃ ~250℃的温度计，而不要选 0℃ ~100℃（易胀破）或 0℃ ~360℃（精度差）的温度计。

2. 根据实验要求选择合适精度的温度计，如利用冰点下降法测化合物的分子量时，最好选用刻度为 1/10 的温度计，可准确测到 0.01℃，对于一般的温度，则没有必要使用如此高精度的温度计（价格偏高）。

3. 利用温度计测量时，要使温度计浸入液体的适中位置，不要使温度计接触容器的底部或壁上。

4. 不能将温度计当搅拌棒使用，以免水银球被碰破。

5. 刚刚测量完高温的温度计取出后不能立即用凉水冲洗，也不要放置在温度较低的水泥台上，以免水银球炸裂。

6. 使用温度计时要轻拿轻放，不要随意甩动。温度计不慎被打碎后，要立即告诉指导教师，撒出的水银应立即回收，不能回收者，要立即用硫磺覆盖清扫。

（秦子平）

第五节　气体的发生、净化

一、气体的产生

实验室常用分解固体或者液体与固体作用等方法来制备少量的气体。用分解固体的方法制备气体（如用氯酸钾分解制备氧气），用图 3-26 所示的装置。用液体与固体反应制备气体的装置，用图 3-27 所示的启普发生器（右），特别适合用来制备 H_2、CO_2、H_2S 等气体。启普发生器是由中间狭窄的球形玻璃容器和大的球形漏斗所组成，二者以磨口相配合。容器的上半球有一侧口，用橡皮管与导气管相连接（气体出口），下半球有一排液口（液体出口），球形漏斗上装有安全漏斗。固体试剂放在中间圆球内，关闭活塞，从球形漏斗中将酸加入。使用时打开活塞，酸液自动下降进入球内，与固体试剂接触而产生气体，停止使用时关闭活塞，产生的气体将酸压入到球形漏斗，使酸与固体样品不再接触而停止反应，下次再用时，只需打开活塞即可。

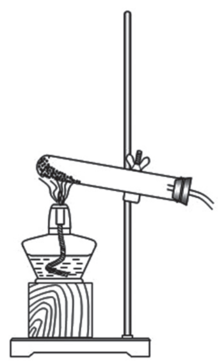


图 3-26　加热固体生成气体的装置

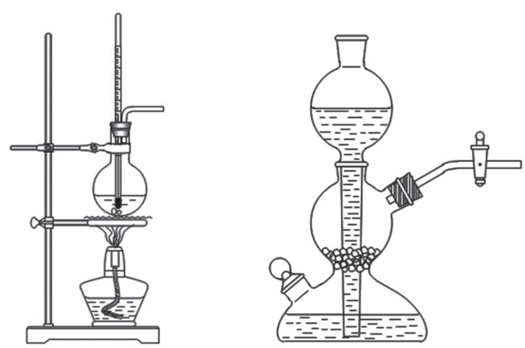


图 3-27　液反应产生气体的装置（右：启普发生器）

当固体样品颗粒很小或呈粉末状时，或者当反应须在加热情况下才能进行（如 Cl_2 的制备）时，不能使用启普发生器，固体装在蒸馏瓶内，液体装在（衡压）漏斗中，使用时打开滴液漏斗的活塞，使液体滴在固体上产生气体，液体不宜滴加过快过多，控制滴加速度，使气体不断地缓慢地产生。

如果制备少量的气体，可以使用具有支口的试管，缺点是不易控制。

实验室中还经常利用气体钢瓶直接获得各种气体。气体钢瓶是特制的耐压钢瓶，使用时通过减压器（气压表）有控制性地将气体放出。钢瓶内压很大（有时高达 150atm 以上），使用时应注意安全，操作要特别小心。

二、气体的干燥和净化

利用上述方法制取的气体常常带有水汽、酸雾等杂质，因此对于气体纯度要求较高的实验，在使用前必须进行净化和干燥，通常选用洗气瓶和干燥塔等仪器（图 3-28），配合特别的试剂达到净化和干燥气体的目的。一般气体先用水洗去酸雾（也可用玻璃棉），然后再通过浓硫酸（或无水氯化铜，硅胶等）除去水汽，如 CO_2 干燥就是采用上述方法。H_2 的净化则要复杂一些，因为制备 H_2 的原料中含有 As 和 S 等杂质，故产生的 H_2 中常夹杂 H_2S、AsH_3 等气体，常需要通过 $KMnO_4$ 溶液和 $Pb(Ac)_2$ 溶液除去，最后才通过硫酸干燥。对于具有还原性、碱性的气体（如 H_2S、NH_3 等）则不能用浓硫酸干燥。总之对于不同性质的气体应根据其特性，采用不同的洗涤液和干燥剂进行处理。一般液体（如水、浓硫酸）装在洗气瓶中，固体（如无水氯化钙、硅胶）装在干燥塔或“U”形管内，见表 3-5。

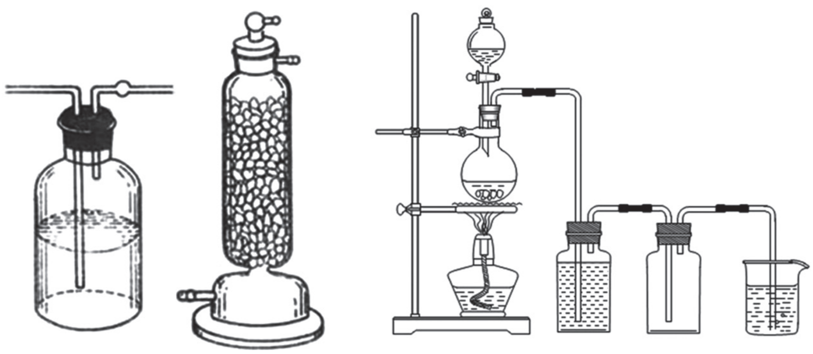


图 3-28 气体干燥装置
（左：洗气瓶，中：干燥塔，右：气体产生净化装置）

表 3-5 常用气体干燥剂

气体	常用干燥剂
H_2、O_2、N_2、CO、CO_2、SO_3	H_2SO_4（浓）、$CaCl_2$、P_2O_5
Cl_2、HCl、H_2	$CaCl_2$
SNH_3	CaO（CaO+KOH）
HI、HBr	CaI_2、$CaBr_2$
NO	$Ca(NO_3)_2$

三、气体的收集（图 3-29）

难溶于水的气体（如 O_2、H_2 等），可用排水集气法收集。

易溶于水且比空气轻者（如 NH_3），可用瓶口向下集气法收集。

易溶于水且比空气重者（如 Cl_2、CO_2），可用瓶口向上排气集气法收集。

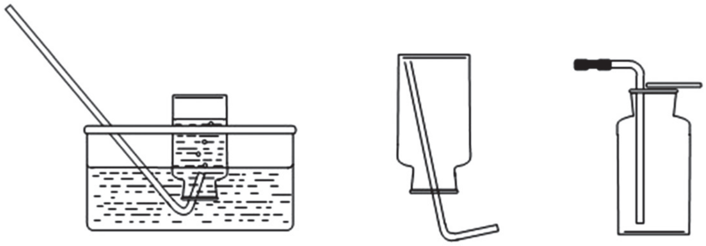


图 3-29　气体的收集方法

（左：排水集气法，中：排气法收集轻气体，右：排气法收集重气体）

（石灵高）

第六节　溶解、过滤操作

一、固体的溶解

1. 固体的溶解　选定某一溶剂溶解固体样品时，还应考虑对大颗粒固体的粉碎、加热和搅拌等以加速溶解。

2. 固体的粉碎　若固体颗粒较大时，在进行溶解前通常用研钵将固体粉碎。在研磨前，应先将研钵洗净擦干，加入不超过研钵总体积 1/3 的固体，缓慢沿一个方向进行研磨，最好不要在研钵中敲击固体样品。研磨过程中，可将已经研细的部分取出，过筛，较大的颗粒继续研磨。

3. 溶剂的加入　为避免烧杯内溶液由于溅出而损失，加入溶剂时应通过玻棒使溶剂慢慢地流入。如溶解时会产生气体，应先加入少量水使固体样品润湿为糊状，用表面皿将烧杯盖好，再用滴管将溶剂自烧杯嘴加入，以避免产生的气体将试样带出。

4. 加热　物质的溶解度受温度的影响，加热的目的主要在于加速溶解，应根据被加热的物质的稳定性的差异选用合适的加热方法。加热时要防止溶液的剧烈沸腾和迸溅，因此容器上方应该用表面皿盖住。溶解完停止加热以后，要用溶剂冲洗表面皿和容器内壁。另外，并不是加热对一切物质的溶解都有利，应该具体情况具体分析。

5. 搅拌　搅拌是加速溶解的一种有效方法，搅拌时手持玻棒并转动手腕，使玻棒在液体中均匀地转圈，注意转速不要太快，不要使玻棒碰到容器器壁发出响声。

6. 蒸发与浓缩　用加热的方法从溶液中除去部分溶剂，从而提高溶液的浓度或使溶质析出的操作叫蒸发。蒸发浓缩一般是在水浴上进行的，若溶液太稀且该物质对热稳定时，可先放在石棉网上直接加热蒸发，再用水浴蒸发。蒸发速度不仅与温度、溶剂的蒸气压有关，还与被蒸发液体的表面积有关。无机实验中常用的蒸发容器是蒸发皿，它能使被蒸发液体具有较大的表面积，有利于蒸发。使用蒸发皿蒸发液体时，蒸发皿

内所盛放的液体不得超过总容量的 2/3，若待蒸发液体较多时，可随着液体的被蒸发而不断添补。随着蒸发过程的进行，溶液浓度增加，蒸发到一定程度后冷却，就可析出晶体。当物质的溶解度较大且随温度的下降而变小时，只要蒸发到溶液出现晶膜即可停止；若物质溶解度随温度变化不大时，为了获得较多的晶体，需要在结晶膜出现后继续蒸发。但是由于晶膜妨碍继续蒸发，应不时地用玻棒将晶膜打碎。如果希望得到好的结晶（大晶体）时，则不宜浓缩的过狠。不管哪种情况，都不宜过度浓缩。

7. 结晶与重结晶　当溶液蒸发到一定程度冷却后就有晶体析出，这个过程叫结晶。析出晶体颗粒的大小与外界环境条件有关，若溶液浓度较高，溶质的溶解度较小，快速冷却并加以搅拌（或用玻棒摩擦容器器壁），都有利于析出细小晶体。反之，若让溶液慢慢冷却或静置有利于生成大晶体，特别是加入一小颗晶体（晶种）时更是如此。从纯度来看，快速生成小晶体时由于不易裹入母液及别的杂质而纯度较高，缓慢生长的大晶体纯度较低，但是晶体太小且大小不均匀时，会形成稠厚的糊状物，携带母液过多导致难以洗涤而影响纯度。因此在物质制备中，晶体颗粒的大小要适中、均匀才有利于得到高纯度的晶体。

当第一次得到的晶体纯度不合要求时，重新加入尽可能少的溶剂溶解晶体，然后再蒸发、结晶、分离，得到纯度较高的晶体的操作过程叫重结晶，根据需要有时需要多次结晶。

进行重结晶操作时，溶剂的选择非常重要，只有被提纯的物质在所选的溶剂中具有高的溶解度和温度系数，才能使损失减少到最低水平，同时所选的溶剂对于杂质而言，或者是不溶解的，可通过热过滤而除去；或者是很易溶解的，溶液冷却时，杂质保留在母液中。

重结晶操作的一般步骤：

1. 溶液的制备　根据待重结晶固体的溶解度，加入一定量所选定的溶剂（若溶解度大、温度系数大时，可加入少多余某温度下可使固体全溶的溶剂，若溶解度和温度系数均小时，应多加溶剂），加热使其全溶。这个过程可能较长，不要随意添加溶剂，若需要脱色时，可加入一定量的活性碳。

2. 热溶液过滤　若无不溶物此步可以省去，需要热过滤时，应防止在漏斗中结晶。

3. 冷却　为得到较好的结晶，一般情况下为缓慢冷却。

4. 抽滤　将固体和液体分离，选择合适的洗涤剂洗去杂质和溶剂，干燥。

二、沉淀溶液的分离

沉淀剂与被沉淀物作用及可生成沉淀，根据被沉淀物、沉淀剂以及所生成的沉淀

的性质的不同，在沉淀制备过程中有正加、反加和对加三种形式：将沉淀剂加入到被沉淀物的溶液中生成沉淀的方法称为正加，反之则叫反加。二者同时加入到同一容器中则称对加，不论哪种加法，目的就在于使沉淀和溶液易于分离，得到质量较好的沉淀。应根据沉淀对象的不同性质和实验要求，先在试管中进行预实验，以选择最佳的方法。

沉淀时，溶液的浓度、沉淀剂的用量，加入速度，搅拌情况，溶液的 pH（酸碱度）、温度及老化（放置）时间等均影响沉淀效果，应加以注意。

常用的固液分离方法有倾斜法、过滤法和离心法等。

1. 倾斜法　当沉淀的结晶颗粒相对较大或相对密度较大，静置后能够较快地降至容器底部时，可用倾斜法分离和洗涤沉淀（图 3–30）。具体做法是：待溶液和沉淀分层后，倾斜容器将上部清液沿玻棒小心倾入另一容器，即达到分离的目的，若沉淀需要洗涤，则往盛有沉淀的容器中加入少量洗涤剂，充分搅拌后，静置让沉淀沉下，倾去洗涤剂，重复操作三次，即可将沉淀基本洗干净。



图 3–30　倾斜法过滤

2. 过滤法　这是分离沉淀和溶液的最常用的操作方法，包括常压过滤、减压过滤和热过滤等类别，溶液的温度、黏度、过滤时的压力、过滤器空隙的大小以及沉淀物的性质均影响过滤速度。

选用不同的方法过滤时，应综合考虑上述各种因素（表 3–6）。

表 3–6　影响过滤速度的因素

影响因素	结果
温度	热溶液较易过滤
黏度	溶液的黏度越大越难过滤
压力	减压比常压过滤得快
胶体	胶体可穿过滤纸，将滤纸空隙堵住，难以过滤
孔隙	滤纸的孔隙越大，过滤的越快

3. 常压过滤　玻璃漏斗及滤纸的选择：玻璃漏斗应选择使用锥体角度为 60° 并且漏斗下管又有一定的长度的。滤纸有定量和定性两种，同时按孔隙的大小，滤纸又可分为“快速”、“中速”和“慢速”三种，应根据实际情况和实验要求选用不同的滤纸和漏斗。

（1）滤纸的折叠　滤纸折叠成四层（对折再对折）（图 3–31）并剪成扇形，展开成圆锥体，恰与 60° 角的漏斗密合，若不密合（漏斗角度大于或小于 60° ）可改变滤纸折叠角度，直到与漏斗密合为止，在三层滤纸的外面两层处撕去一角，使三层滤纸的那边紧贴漏斗，用食指按住三层滤纸一边，用少量蒸馏水润湿滤纸，使滤纸紧贴

漏斗壁上。用玻棒轻压滤纸，赶走滤纸与漏斗壁间的气泡。加水至滤纸边沿，此时漏斗颈应充满水，形成水柱（若不能形成完整的水柱，可一边用手指堵住漏斗下口，一边稍稍翘起三层那一边的滤纸，再滤纸和漏斗间加水，使漏斗颈和锥体大部分被水充满后，一边轻轻按下掀起的滤纸，一边缓慢放开堵住出口的手指，即可形成水柱）。在全部过滤过程中，为使过滤速度较快，漏斗颈必须一直被液体充满。

（2）过滤操作　将准备好的漏斗放在漏斗架上，漏斗出口尖端处与接受容器的内壁接触，若是使用烧杯做接受器，漏斗出口不要靠在烧杯口（图 3–32）。

（3）过滤时应注意　①先转移溶液后转移沉淀，这样就不会由于沉淀堵塞滤纸孔隙而减慢过滤速度。②转移溶液时，应用玻棒引流，玻棒下段对着三层滤纸处，尽量靠近但不要接触。③加入漏斗的溶液不要超过滤纸的 2/3。④若沉淀需要洗涤（图 3–32），待溶液转移完全后，再加入洗涤剂，搅拌沉淀，将清液转移到漏斗中，重复操作数次最后加入少量洗涤剂，把沉淀搅起，将沉淀和溶液一起转入漏斗，此时每次转移沉淀的量不能超过滤纸的 2/3，以便收集沉淀。也可以将沉淀转移到滤纸上，用洗瓶加洗涤剂来洗涤沉淀，洗涤沉淀时应注意遵循少量多次的原则以提高洗涤效率。最后检查滤液中的杂质，判断沉淀是否洗净。

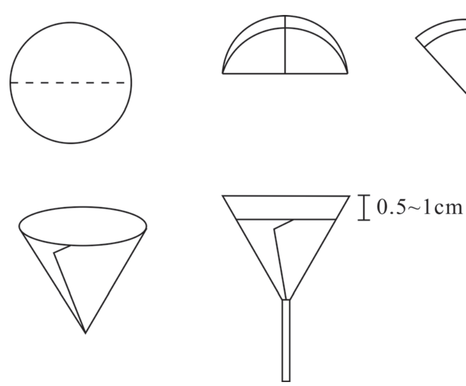


图 3–31　滤纸的折叠和安放

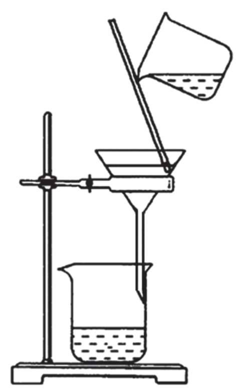


图 3–32　沉淀的洗涤

4. 减压过滤　减压可加快过滤速度，还可以将沉淀抽吸的比较干燥，但是胶体沉淀在快速过滤时易透过滤纸，颗粒太小太细的沉淀易在滤纸上形成一层密实的沉淀层，使溶液不易透过，反而达不到快速沉淀的目的，因此胶体沉淀和颗粒太小的沉淀不宜采用此法。

（1）仪器与安装　减压过滤的仪器装置（图 3–33）是由抽滤瓶、布氏漏斗、安全瓶和减压装置（水泵、真空泵等）组成。

由于减压装置带走了空气，使抽滤瓶减压，在布氏漏斗液面上和滤瓶内造成一个压力差，从而加快了过滤速度。布氏漏斗是带有许多小孔的瓷漏斗，借橡皮塞与抽滤

瓶连接〔有时也用玻璃砂心漏斗（酸洗漏斗）〕，抽滤瓶承接留下来的溶液（母液），并有支管与抽气系统连接。安装时注意漏斗的下口应朝着支管的方向（图 3–33）。

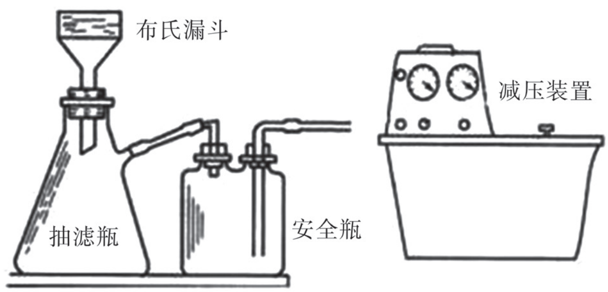


图 3–33 减压过滤装置

由于使用水泵减压时水的流量突然增加又变小，以及关闭水门都会因抽滤瓶内压力低于外界压力而使自来水进入抽滤瓶（反吸）；同时，当抽滤瓶的真空度大时，水泵的水汽泡也可能进入抽滤瓶，因此在抽滤瓶和水泵之间安装安全瓶是非常重要的。

（2）减压抽滤操作

①准备滤纸：在减压过滤前，先将滤纸剪成直径略小于布氏漏斗直径，又能将漏斗的全部小孔盖住的圆形（也可以根据布氏漏斗直径的大小，选择合适的不同型号的滤纸）。将滤纸平铺于布氏漏斗的瓷板上，用少量蒸馏水将其润湿，缓慢打开自来水龙头稍微减压使滤纸紧紧地贴在漏斗的瓷板上。

②转移沉淀：然后将溶液（也可将溶液和沉淀一起）转入布氏漏斗（每次转入的量不得超过漏斗总容量的 2/3），开大水龙头抽滤，并用玻棒将沉淀铺平，继续至沉淀抽滤的比较干燥。

③沉淀洗涤：需要对沉淀进行洗涤时，应先放空（或者拔掉与抽滤瓶相连的橡皮管），然后关闭水泵，将洗涤剂加入到布氏漏斗至沉淀盖没（浸润），搅拌（注意不要将滤纸搅破），再接连减压装置，使沉淀尽量的抽干，重复操作直到符合要求为止。

④取出固体：过滤完毕以及其他需停止抽滤时，应首先放空（或拔掉与抽滤瓶相连的橡皮管），将抽滤瓶与安全瓶拆开，再关闭水泵。将布氏漏斗从抽滤瓶上拿下，用玻棒清洗滤纸边缘，取出滤纸和沉淀。

⑤母液回收：从抽滤瓶中的上口倒出母液（注意不能从侧口倒抽滤瓶中的母液）。

（3）石棉纤维的应用　如果被过滤的溶液具有强酸性、强碱性或强氧化性时，就不能使用滤纸做过滤器，可以使用玻璃纤维代替滤纸。具体做法：将石棉纤维在水中充分浸泡，用玻棒将其搅匀，倾入布氏漏斗中，微减压使玻璃纤维紧紧地贴在漏斗中，铺后如发现仍有空隙时，可在空隙处补加石棉纤维，直到无空隙为止。用自来水洗涤至流出液无石棉纤维，再用蒸馏水洗涤两次就可用来过滤。具体过滤操作同前。由于过滤后沉淀与石棉纤维粘在一起难以分开，所以此法只适用于过滤后沉淀弃去、只要溶液的反应。

三、结晶的干燥与保存

结晶的干燥是从晶体表面除去水分，具体的方法包括烘干法、吸干法和干燥器干燥法等。

1. 烘干　对于比较稳定的晶体可采用此法干燥，即将晶体放置于培养皿（或表面皿）内，在恒温箱中烘干，也可将其放在蒸发皿中，在水浴或石棉网上直接加热，将结晶烤干。或置于红外灯下烤干。

2. 吸干　对于含有结晶水的晶体，不宜采用烘干法干燥，可采用滤纸吸干，即将晶体放在两层滤纸之间用手轻轻积压，让晶体表面的水分被滤纸吸收，更换滤纸重复操作直到晶体干燥为止。

3. 干燥器干燥法（图 3–34）　对于受热易分解，或干燥后又易吸水但是又需要保存较长时间的晶体，可将晶体放入装有干燥剂的干燥器中干燥和存放。干燥器口涂有一层凡士林，以便盖严后防止外界水汽进入。打开干燥器时，应该一手扶住干燥器，另一手握住盖子上的手柄，沿水平方向移动盖子。盖上盖子的操作与此相同但方向相反（打开真空干燥器时，应先将盖上活塞打开充气），见表 3–7。

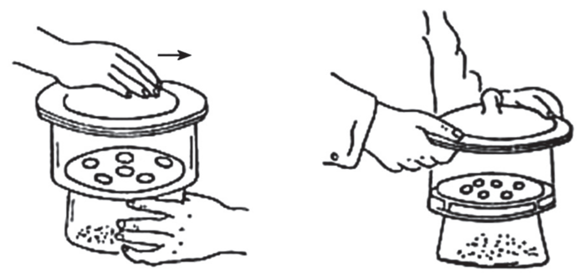


图 3–34　干燥器及其使用

表 3–7　几种干燥剂的残留水分

干燥剂	P_2O_5	$Mg(ClO_4)_2$	BaO	分子筛	KOH	$CaSO_4$	H_2SO_4	$CaCl_2$
残留水分 (mg/L)	2×10^{-5}	5×10^{-4}	7×10^{-4}	1×10^{-3}	2×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-2}	0.2

温度高的物体应稍微冷却后再放入干燥器，放入后，在短时间内再把盖子打开 1~2 次，以免以后盖子打不开。

（甘琳琳）

第七节　结晶、离心分离

在无机物的制备中，经常要用到蒸发（浓缩）、结晶（重结晶）、溶液与结晶（沉淀）的分离（过滤、离心分离）、洗涤和干燥等一系列的操作，必须熟练掌握。

一、结晶（重结晶）

利用不同物质在同一溶剂中的溶解度的差异，可以对含有杂质的化合物进行纯化。

所谓杂质是指含量较少的一些物质，它们包括不溶性的机械杂质和可溶性的杂质两类。在实际操作中是先在加热情况下使被纯化的物质溶于一定量的水中，形成饱和溶液趁热过滤，除去不溶性机械杂质，然后使滤液冷却，此时被纯化的物质已经是过饱和，从溶液中结晶析出；而对于可溶性杂质来说，远未达到饱和状态，仍留在母液中。过滤使晶体与母液分离，便得到较纯净的晶体物质。这种操作过程就叫做重结晶。如果一次结晶达不到纯化的目的，进行第二次重结晶，有时甚至需要进行多次结晶操作才能得到纯净的化合物。

重结晶纯化物质的方法，只适用于那些溶解度随温度上升而增大的化合物。对于其溶解度受温度影响很小的化合物则不适用。

从溶液中析出的晶体颗粒大小与结晶条件有关。假如溶液的浓度高，溶质的溶解度小，冷却得快，那么析出的晶体颗粒就细小。否则，就得到较大颗粒的结晶。搅动溶液和静置溶液，可以得到不同效果。前者有利于细小晶体的生成，后者有利于大晶体的生成。从纯度的要求来说，细小晶体的生成有利于生成物纯度的提高，因为它不易裹入母液或别的杂质；而粗大晶体，特别是结成大块的晶体的形成，则不利于纯度的提高。

若溶液容易发生过饱和现象，这时可以采用搅动、摩擦器壁或投入几粒小晶体（晶种）等办法，使形成结晶中心，过量的溶质便会全部结晶析出。

二、离心分离法

当沉淀的结晶颗粒较大或比重较大，静置后容易沉降至容器的底部时，可用倾析法分离或洗涤，见图 3–35。倾析的操作与转移溶液的操作是同时进行的。洗涤时，可往盛着沉淀的容器内加入少量洗涤剂（常用的有蒸馏水、酒精等），充分搅拌后静置、沉降，再小心地倾析出洗涤液。如此重复操作两三遍，即可洗净沉淀。



图 3–35　倾析法洗涤

当被分离的沉淀的量很少时可以应用离心分离。把要分离的混合物放在离心管（而不是试管）中，再把离心管装入离心机的套管内。在对面的套管内则放一盛有与其等体积的离心管。使离心机旋转一阶段后，让其自然停止旋转。通过离心作用，沉淀就紧密地聚集在离心管底部而溶液在上部。用滴管将溶液析出。如需洗涤，可往沉淀中加入少量洗涤剂，充分搅拌后再离心分离。重复操作两三遍即可。

沉淀附着的溶剂可用一条滤纸吸去（图 3–36）。为了除去残余的溶剂，可按图 3–37 在离心管上仔细而又缓慢地抽真空，如果需要，也可以外加热浴进行微热。

实验室内常用的离心机根据旋转时离心管与轴所成的角度，可分为水平式和斜角式两种，前者旋转时离心管与轴成直角，后者旋转时离心管与轴成 45°~50°。



图 3-36　滤纸吸溶剂

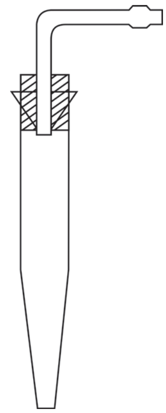


图 3-37　抽真空吸溶剂

根据转速不同将离心机分为普通离心机（最高转速为 4000r/min）；高速离心机（最高转速为 20 000r/min），为了防止发热，可带制冷装置，故又称高速冷冻离心机；超速离心机，最高转速为 50 000r/min 以上，又可分为分析超速离心机和制备超速离心机两类。分析超速离心机的速度控制的精密度很高，并装有光学系统或配置有数据处理机自动计算被离心微粒的主要参数，如沉降系数、分子量、扩散系数等。目前最高转速的超速离心机已达到 80 000r/min。

三、干燥

1. 气体的干燥　用固体干燥剂干燥气体是在干燥塔内进行。为了避免在干燥过程中干燥剂结块，对形状不稳定的干燥剂（P_2O_5），要混上支撑物料（石棉纤维、浮石等）。

化学惰性气体一般在洗瓶中用浓硫酸干燥，对此要连上安全瓶和使用洗瓶安全装置。

低沸点气体的干燥是用冷阱（图 3-38）使水和其他可凝结的杂质冷冻下来，为了进行冷冻，可采用干冰 / 甲醇或液态空气做冷冻剂。

为了与大气中的湿气隔绝，可在开口的装置上安放有氯化钙、碱石灰或其他适当干燥剂的干燥管。

2. 液体的干燥　对于液体的干燥，可让其与细粉状的干燥剂放在一起，不时振摇。对于含有大量水分的液体，应分次干燥，并且不时用新的干燥剂去替换原有的干燥剂，直到对水分的吸收不显著为止。

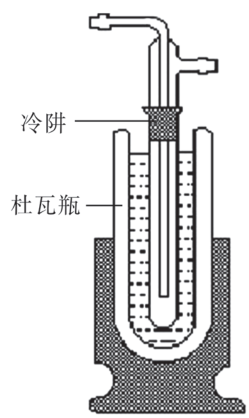


图 3-38　冷阱

3. 固体的干燥　如果过滤和离心分离所分离出来的沉淀对热是稳定的，那么需要干燥时，可把沉淀放在表面皿上，在电烘箱中烘干。也可把它放在蒸发皿内，用水浴

或煤气灯加热烘干。有些带结晶水的晶体，不能烘烤，可以用有机溶剂洗涤后晾干。有些易吸水潮解或需要长时间保持干燥的固体，应放在干燥器内。

如果要除去蛋白质溶液中的水分，为避免蛋白质变性，可以采用冰冻干燥技术。

（吕保樱）

第八节　试纸的使用

在实验室中常用一些试纸来定性检验一些溶液的性质或某些物质是否存在，用起来操作简单、方便、快速，并具有一定的精确度。

一、试纸的种类

实验室所用的试纸种类很多，常用的有 pH 试纸、醋酸铅试纸、淀粉碘化钾试纸和高锰酸钾试纸等。

1. pH 试纸　pH 试纸用来检验溶液或气体的 pH，包括广泛 pH 试纸和精密 pH 试纸两大类别。广泛 pH 试纸的变色范围在 1~14，用来粗略估计溶液的 pH。精密 pH 试纸可较精密地估计溶液的 pH，根据其变色范围可以分为多种，如 pH 变色范围在 2.7~4.7、3.8~5.4、5.4~7.0、6.9~8.4、8.2~10.0、9.5~13.0 的多种，根据待测溶液的酸碱性可选用某一变色范围的试纸（最好先用广泛 pH 试纸粗测，再用精密 pH 试纸较准确的测量）。

2. 醋酸铅试纸　醋酸铅试纸是用来定性检验 H_2S 气体的试纸。当含有 S^{2-} 离子的溶液被酸化后，逸出的 H_2S 气体遇到试纸，即与纸上的醋酸铅反应，生成黑色的醋酸铅沉淀，使试纸呈黑褐色，并具有金属光泽：

$$Pb(Ac)_2 + H_2S = PbS(s) + 2HAc$$

若溶液中 S^{2-} 离子的浓度较小实则不易检验出。

3. 淀粉－碘化钾试纸　淀粉－碘化钾试纸是用来定性检验氧化性气体如 Cl_2、Br_2 的一种试纸。当氧化性气体遇到湿的淀粉－碘化钾试纸时，将试纸上的 I^- 氧化成 I_2，后者立即与试纸上的淀粉作用而显蓝色。

$$2I^- + Cl_2 = I_2 + 2Cl^-$$

如气体氧化性强，且浓度较大时，还将 I_2 可以进一步氧化而使试纸褪色。

$$I_2 + 5Cl_2 + 6H_2O = 2HIO_3 + 10Cl^-$$

使用时必须仔细观察试纸颜色的变化，以免得出错误的结论。

4. 其他试纸　目前我国生产的各种用途的试纸已多达几十种，较为重要的有测 ASH_3 的溴化汞试纸、测汞的汞试纸。

二、试纸的使用方法

每种试纸的使用方法都不一样，在使用前应仔细阅读使用说明，但也有一些共性。

1. 用作测定气体的试纸，都需要先行润湿后再测量，并且不要将试纸接触相应的液体或反应器，以免造成误差。

2. 使用试纸时，应注意节约，尽量将试纸剪成小块。

3. 不要将试纸浸入到反应液中，以免造成溶液的污染。

4. 使用试纸时应尽量少取，取后盖好瓶盖，以防污染（尤其是醋酸铅试纸）。

（1）几种特殊的试纸的使用方法　pH 试纸及石蕊、酚酞试纸。将小块试纸放在洁净的表面皿或点滴板上，用沾有待测液的玻棒点在试纸的中部，试纸即被待测液润湿而变色，即与标准色阶板比较，确定相应的 pH 或 pH 范围，若是其他试纸，则根据颜色的变化确定其酸碱性。如果需要测气体的酸碱性时，应先用蒸馏水将试纸润湿，将其沾附在洁净玻棒尖端，移至产生气体的试管口上方（不要接触试管），观察试纸的颜色变化。

（2）淀粉碘化钾试纸或醋酸铅试纸　将小块试纸用蒸馏水润湿后沾附在干净的玻棒尖端，移至产生气体的试管口上方（不要接触试管及触及试管内的溶液），观察试纸的颜色变化。若气体量较小时，可在不接触溶液的条件下将玻棒伸进试管进行观察。

三、试纸的制备

1. 淀粉碘化钾试纸（无色）　将 3g 可溶性淀粉与 25ml 水搅匀，倾入 225ml 沸水中，加入 1g KI 和 1g Na_2CO_3，搅拌，加水稀释至 500ml，将滤纸条浸湿，取出后放置于无氧化性气体处晾干，保存于密封装置（如广口瓶）中备用。

2. 醋酸铅试纸（无色）　在浓度小于 1mol/L 的醋酸铅溶液〔每升中含 190g $Pb(Ac)_2\cdot 3H_2O$〕中浸润滤纸条，在无 H_2S 气氛中干燥即可，密封保存备用。

（岑春田）

第九节　酸度计（pH 计）的使用

一、仪器构造和原理

酸度计（也称 pH 计）是用来测量溶液 pH 的仪器。溶液的 pH 可用电位法精确测量。酸度计测 pH 的方法是电位测定法。它除测量溶液的酸度外，还可以测量电池电动势（mV）。

酸度计主要是由参比电极（甘汞电极）、测量电极（玻璃电极）和精密电位计三部分组成。饱和甘汞电极由金属汞、Hg_2Cl_2 和饱和 KCl 溶液组成，它的电极反应是：

$$Hg_2Cl_2+2e=2Hg+2Cl^-$$

甘汞电极的电极电势不随溶液 pH 变化而变化，在一定温度下有一定值。25℃时饱和甘汞电极电势为 0.245V。玻璃电极的电极电势随溶液 pH 的变化而改变。它的主要部分是头部的球泡，这是由特殊的敏感玻璃薄膜构成。薄膜对氢离子有敏感作用，当它浸入被测溶液内，被测溶液的氢离子与电极球泡表面水化层进行离子交换，球泡内层也同样产生电极电势。由于内层氢离子浓度不变，而外层氢离子浓度在变化，因此内外层的电势差也在变化，所以该电极电势随待测溶液的 pH 不同而改变。

利用氢离子指示电极——玻璃电极与参比电极（一般用饱和甘汞电极）组成电池，由测得的电动势求出溶液的 pH。酸度计可把测得的电池电动势直接用 pH 刻度值表示出来。因而从酸度计上可以直接读出溶液的 pH。

由于玻璃电极的玻璃膜电阻很大，一般在 10 μΩ~100MΩ，即使有微小的电流通过，也会使电动势测定产生很大的误差。因此电动势测定要用专门的 pH 计进行测量，而不能用通常的电位计。

目前实验室使用的电极多是复合电极（玻璃电极与参比电极结合为一支电极），其优点是不受溶液中的氧化剂、还原剂及各种杂质的影响，使用方便，且平衡速度较快。

pH 计类型很多，不同类型 pH 计其操作步骤稍有不同，因而 pH 计的操作应严格按照其使用说明书进行。酸度计基本工作原理图如下，本书主要介绍 pHS-25C 型酸度计（图 3-39）。

电位计实际上是一高输入阻抗的毫伏计。由于电极系统把溶液的 pH 变为毫伏值是与被测溶液的温度有关的，因此，在测 pH 时，电位计附有一个温度补偿器。此温度补偿器在测量电极电位时不起作用。

由于电极系统的 pH 零电位都有一定的误差，如不对这些误差进行校正，则会对测量结果带来不可忽略的影响，为了消除这些影响，一般酸度计上都有一个“定位”调节器，这个“定位”调节

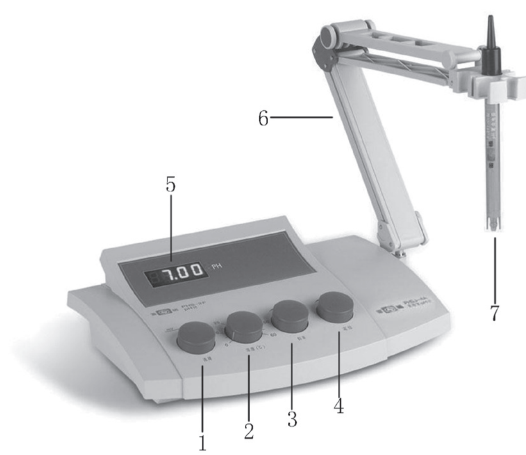


图 3-39　pHS-25c 型酸度计

1. 功能选择器；2. 温度补偿器；3. 斜率调节器；4. 定位调节器；5. 显示屏；6. 电极支架；7. pH 电极

器在仪器 pH 校正时用来消除电极系统的零电位误差。

电位计上的“选择”开关是用于确定仪器的测量功能，“pH”档时，用于 pH 测量和校正。“+mV”档，用于测量电极电位极性同电位计后面板上相同的电极电位值；“–mV”档，用于测量电极电位极性同电位计后面板上相反的电极电位值。

电位计上的“范围”开关是用于选择测量范围的。中间一档是仪器处于预热用的，在不进行测量时，都必须置于这一位置。上表是处在不同档时的测量范围（表 3–8）。

表 3–8　不同档时的 pH 测量范围

功能测量范围档	pH 测量	mV 测量
7~0	0~7pH	0~ ± 700mV
7~14	7~14pH	± 700~ ± 1400mV

二、pH 计的使用方法

1. pH 计的检查　首先，按使用说明书连接好各部件，装上电极杆和电极夹，并按要求的位置紧固。然后装上电极，支好仪器背部的支架。在开电源开关前，把“范围”开关置于中间的位置。短路插插入电极插座。

通过下列操作方法，可初步判断仪器是否正常。

（1）将“选择”开关置于“+mV”或“–mV”。短路插插入电极插座。

（2）将“范围”开关置于中间位置，开仪器电源开关，此时电源指示灯应亮。电表位置在未开机时的位置。

（3）将“范围”开关置于“0~7”档，指示电表的示值应为 0mV（ ± 10mV）位置。

（4）将“选择”置“pH”档，调“定位”，电表示值应小于 6pH。

（5）将“范围”开关置于“7~14”档，调“定位”，电表示值应大于 8pH。

当仪器经过以上方法检验，都能符合要求后，则可认为仪器的工作基本正常。

2. 准备工作

（1）按使用说明书连接好各部件。

（2）将已在饱和 KCl 溶液中浸泡 24 小时的复合电极插入电极插座。

（3）接上电源，开机预热 15~30 分钟。

3. 标定　仪器在测量 pH 前，需进行标定，可采用两点标定法：定位标定和斜率标定。当测量精度不高时，也可用一点标定法，即只进行定位标定。

（1）定位标定　把用蒸馏水清洗干净的电极插入 pH=7 的缓冲溶液（指 0.025mol · L^{-1} KH_2PO_4 和 0.025mol · L^{-1} Na_2HPO_4 的混合溶液）中，调节温度补偿旋钮，

使其指示的温度与缓冲溶液的温度相同，再调节定位旋钮，使仪器显示的 pH 与该缓冲溶液在此温度下的 pH 相同。

（2）斜率标定　把电极从 pH 为 7 的缓冲溶液中取出，用蒸馏水清洗干净，把清洗干净的电极插入 pH=4 的溶液（指 0.05mol · L^{-1} 邻苯二甲酸氢钾溶液）或 pH=9 的溶液（指 0.01mol · L^{-1} 硼砂溶液）（斜率标定选用何种标准缓冲溶液，视被测液的 pH 而定。斜率标定选用的标准溶液应与被测液 pH 相近）的缓冲溶液中。调节温度补偿旋钮，使其指示的温度与溶液温度相同。再调节斜率旋钮，使仪器显示的 pH 与该溶液在此温度下的 pH 相同。

重复（1）、（2）操作，直至电极从一标准液移入另一标准液时，其读数无需再调节旋钮即与缓冲溶液在此温度下的 pH 一致。标定结束。标定结束后，仪器的调节旋钮在本次测定不应再变动。

在正常使用的情况下，一般情况下，在 24 小时内仪器不需再标定。如间断使用，则在每次使用前要进行标定，而在下列情况下，使用前必须进行标定。

a. 溶液温度与前次校准时的温度有较大变动。

b. 久置的电极再使用时。

c. 换用新电极。

d. 在标定后，又变动过“定位”或“斜率”旋钮的位置。

e. 电极在测量过含有氟化物的溶液之后，应充分用蒸馏水清洗，在清水中泡后再重新进行标定。

4. 测定溶液 pH　把电极从缓冲溶液中取出，用蒸馏水清洗干净并用滤纸吸干，把清洗干净的电极插入被测溶液中，调节温度补偿旋钮，使其指示的温度与溶液温度相同；将“选择”开关置于“pH”档；将“范围”开关置于被测溶液可能的 pH 范围。显示的数值即为待测溶液的 pH。

三、使用注意事项

1. 使用前，检查电极前端的球泡。球泡内要充满溶液，不能有气泡存在。复合电极头部如有裂纹或老化，则应调换新的电极，否则反应缓慢，甚至造成较大的测量误差。

2. 复合电极的电极头部很薄，因此，不要与硬物相碰，防止电极损坏。

3. 复合电极不用时，可充分浸泡于 3mol/L 氯化钾溶液中。切忌用洗涤液或其他吸水性试剂浸洗。

4. 复合电极严禁在脱水性介质如无水乙醇、重铬酸钾等中使用。

5. 每次更换标准缓冲液或待测溶液前，应用蒸馏水充分洗涤电极。清洗电极后，不要用滤纸擦拭玻璃膜，而应用滤纸吸干，避免损坏玻璃薄膜，也可用所换的标准缓

冲液或待测溶液洗涤。

6. 要保证标定用的标准缓冲溶液准确可靠。标准缓冲液一般可保存 2~3 个月，如发现有浑浊、发霉或沉淀等现象时，不能继续使用。配制方法见实验十三。

7. pH 标准物质应保存在干燥的地方，如混合磷酸盐 pH 标准物质在空气湿度较大时就会发生潮解，一旦出现潮解，pH 标准物质即不可使用。

8. 配制 pH 标准溶液应使用二次蒸馏水或者是去离子水。如果是用于精度为 0.1 级 pH 计测量，则可以用普通蒸馏水。

（覃永余）

第四章　无机化学实验

实验一　实验安全教育及仪器辨识、洗涤、干燥

实验目的

1. 熟悉　无机化学实验的安全常识和基本要求。
2. 辨识　无机实验常用仪器，各仪器名称及使用注意事项。
3. 学习　常用仪器的洗涤和干燥方法。

实验内容

按照要求找出指定仪器，并且按仪器说明学会使用。

实验器材

（一）主要实验仪器

烧杯、容量瓶、锥形瓶、硬质试管、离心试管、小试管、量筒、洗瓶、研钵、镊子、布氏漏斗、试管架、试管夹、移液管、表面皿、蒸发皿、坩埚、泥三角、点滴板、玻璃棒、洗耳球、坩埚钳、酒精灯、石棉网、三角架。

（二）实验耗材

蒸馏水、肥皂、洗衣粉。

实验准备要求

（一）熟悉实验环境，了解无机化学实验的安全常识和基本要求

（二）辨识无机实验常用仪器（表 4–1）

表 4–1　无机实验常用仪器

品名	规格（ml）	数量	品名	规格（ml）	数量
烧杯	500	1	移液管	25	1
	250	1	吸量管	5	1
	100	1	表面皿		1

续表

品名	规格（ml）	数量	品名	规格（ml）	数量
容量瓶	250	1	蒸发皿		1
	100	1	坩埚		1
	50	1	泥三角		1
锥形瓶	250	1	点滴板		1
硬质试管		1	研钵		1
离心试管	10	1	镊子		1
小试管	小	1	酒精灯		1
比色管	25	1	称量瓶		1
量筒	50	1	温度计		1
	25	1	玻璃棒		1
	10	1	洗耳球		1
洗瓶		1	坩埚钳		1
布氏漏斗	9	1	石棉网		1

仪器图例（图 4–1）：



图 4–1　仪器图例

（三）常用仪器的洗涤

玻璃仪器的洗涤方法很多，应根据实验的要求，污物的性质，沾污的程度来选用，

常用的洗涤方法如下：

1. 刷洗　用水和毛刷刷洗，除去仪器上的尘土、其他不溶性杂质和可溶性杂质。

2. 用去污粉、肥皂或洗涤剂洗　洗去油污和有机物质，若油污和有机物质仍洗不干净，可用热的碱液洗。

3. 用浓 HCl 洗　大多数不溶于水的无机物都可洗去，如灼烧过沉淀物的瓷坩埚，可先用热 HCl（1∶1）洗涤，再用洗液洗。

4. 用氢氧化钠的高锰酸钾洗液洗　可以洗去油污和有机物，洗后在器壁上留下的二氧化锰沉淀可再用盐酸洗。

5. 特殊污物的洗涤　有些污物用常规的方法很难洗净，应针对污物种类，采取不同的措施。如 AgCl 沉淀，可用氨水洗涤；硫化物沉淀可用硝酸洗涤；MnO_2 可以用草酸溶液洗涤；铁锈可用稀盐酸洗涤；银镜可用稀硝酸洗涤等。

洗涤玻璃仪器的基本要求：

用以上各种方法洗涤后，经用自来水冲洗干净的仪器上往往还留有 Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^- 等离子，如果实验中不允许这些离子存在，应该再用蒸馏水把它们洗去，使用蒸馏水的目的只是为了洗去附在仪器壁上的自来水，所以应该尽量符合少量（每次用量少）多次（一般洗 3 次）的原则。

1. 洗净的仪器壁上不应附着不溶物、油污。这样的仪器可被水完全湿润，把仪器倒过来，水即顺器壁流下，器壁上只留下一层薄而均匀的水膜，不挂水珠，表示仪器已洗净。

2. 已洗净的仪器不能用布或纸抹。因为布和纸的纤维会留在器壁上弄脏仪器。

3. 在定性、定量的实验中，由于杂质的引进会影响实验的准确性，对仪器的要求比较高，但在有些情况下，如一般的无机制备、性质实验，对仪器的洁净程度要求不高，仪器只要刷洗干净，不要求不挂水珠，也不必用蒸馏水荡洗，工作中应要求实际情况决定洗涤的程度。

根据污物的性质，选择正确的洗涤方法，将部分仪器洗涤，并让教师检查。

（四）仪器的干燥

常用仪器可用以下方法干燥。

1. 晾干　不急用的仪器，在洗净后可倒挂在干净的实验柜内或仪器架上，任其自然干燥。

2. 烘箱烘干　将洗净的仪器尽量倒干水后，放进烘箱内，放时应使仪器口朝下，并在烘箱最下层放一搪瓷盘，承接从仪器上滴下来的水，以免水滴到电热丝上，损坏电热丝。

3. 烤干　一些常用的烧杯、蒸发皿等可放在石棉网上，用小火烤干，试管可用试管夹夹住，在火焰上来回移动，直至烤干，但必须使管口低于管底，以免水珠倒流至试管灼热部分，使试管炸裂，待烤到不见水珠后，将管朝上赶尽水气。

4. 气流烘干　试管、量筒等适合于在气流烘干器上烘干。

5. 电吹风吹干

6. 有机溶剂快速干燥　带有刻度的计量仪器不能用加热的方法干燥，因此和一些急需用的仪器一样，采用有机溶剂快速干燥法干燥：将易挥发的有机溶剂（如乙醇、丙酮等）少量加入到已经用水洗干净的玻璃仪器中，倾斜并转动仪器，使水与有机溶剂互溶，然后倒出，同样操作两次后，再用乙醚洗涤仪器后倒出，自然晾干或用电吹风吹干。用酒精灯干燥 2 支洗净的试管。

实验结果与分析

1. 选好仪器让老师检查确认。
2. 完成实验后把仪器放回原位。

注意事项

1. 试管内废液必须先倒入废液缸中，后注水洗涤。实验用水应做到少量多次。
2. 不能一手同时握拿多支试管。刷洗时用力适度。

思考题

1. 烤干试管时，为什么管口要略向下倾斜？
2. 什么样的仪器不能用加热的方法进行干燥，为什么？

（张　悦）

实验二　电子天平称量练习

实验目的

1. 掌握　电子天平零点的调节，电子天平的使用方法，直接法和固定质量法称量。
2. 观察　电子天平结构，知道电子天平主要部件的名称和作用。

实验原理

1. 直接法称量　直接法称量是将称量物直接放在天平盘上，直接称出称量物的质量。直接法称量用于称量洁净干燥的不易潮解或升华的物品。

具体操作：对不会沾污称盘的称量物，按“TAR”键，显示为零后，置称量物于

称盘上，待显示的数字稳定后，即可读出称量物的质量值。

去皮称量：按“TAR”键清零，放置容器如小烧杯、表面皿等于称盘上，天平显示容器质量，再按“TAR”键，显示零，即去除皮重。

再放置称量物于容器中，这时显示的是称量物的净质量。

2. 固定质量法称量　固定质量法称量又称增量法，用于称取指定质量的试样。这种称量操作的速度慢，适合于称取本身不宜吸水，并在空气中性质稳定的细粒或粉末状试样。

操作：按“TAR”键清零，放置容器如小烧杯、表面皿等于称盘上，天平显示容器质量，再按“TAR”键，显示零，即去除皮重。

用牛角勺将试样加入盛放容器中。当所加试样与指定质量相差不多时，小心地将盛有试样的牛角勺将试样慢慢抖入容器中，直至天平显示的数字与指定质量基本一致（误差范围≤ 0.2mg）。

3. 差减称量法　用于称量一定质量范围的样品，称出试样的质量不要求是固定的数值，只需要在要求的称量范围内即可。

样品在称量过程中易吸水、易氧化或易与 CO_2 等反应时，应选择差减称量法称量。

操作：加试样于称量瓶中，称出称量瓶加试样后的准确质量 W_1。取出称量瓶，倒出一定试样后，准确称量出称量瓶和剩余样品的质量 W_2。两次质量之差 W_1~W_2，即为倒出试样的质量。按上述方法连续进行，可称量多份试样。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

电子天平（精确到0.1mg），台秤，称量瓶，表面皿，烧杯（50ml、250ml），牛角勺。

（二）实验耗材

硅胶固体粉末、氯化钠固体粉末。

实验内容、方法及步骤

1. 电子天平的使用方法

（1）观察天平是否处于水平位置　观察水平仪，如水平仪水泡不在正中，需调节天平前部下方的两个水平调节螺丝，使水平仪的水泡位于正中。

（2）预热　接通电源，预热。天平长时间断电之后再使用时，至少需预热 30 分钟。

（3）开启显示屏　轻按 ON/OFF 键，显示屏全亮，显示 0.0000g。

（4）校准　天平安装后，第一次使用前，应对天平进行校准。因存放时间较长、位置移动、环境变化或未获得精确测量，天平在使用前一般都应进行校准操作。校准

按说明书进行操作。

（5）称量　按“TAR”键，显示为零后，置称量物于称盘上，待显示的数字稳定后，即可读出称量物的质量值。

（6）去皮称量　按“TAR”键清零，放置容器如小烧杯、表面皿等于称盘上，天平显示容器质量，再按“TAR”键，显示零，即去除皮重。

再放置称量物于容器中，或将称量物（粉末状物或液体）逐步加入容器中直至达到所需质量，这时显示的是称量物的净质量。

将称盘上的所有物品拿开后，天平显示负值，按“TAR”键，天平显示 0.0000g。

（7）称量结束后，若较短时间内还使用天平（或其他人还使用天平）一般不用按“OFF”键关闭显示器。实验全部结束后，关闭显示器，切断电源，若短时间内（如 2 小时内）还使用天平，可不必切断电源，再用时可省去预热时间。

若当天不再使用天平，应拔下电源插头。

2. 直接法称量　直接法称量是将待称量物直接放在天平托盘上直接称量物体的质量。

按 TAR 键，显示为 0.0000g 后，置称量瓶、表面皿于天平上，待显示的数字稳定后，即可分别读出称量物的质量值。

3. 固定质量称量法（增量法）　固定质量称量法用于称量某一固定质量的试剂（如基准物质）或试样。这种称量操作适于称量不易吸潮、在空气中能稳定存在的粉末状或小颗粒样品。

称取两份 0.5000g NaCl 样品。方法：

①放置底部干燥的小烧杯于称盘上，按“TAR”键，显示 0.0000g。

②用牛角勺将试样慢慢加入小烧杯中。小心地将盛有试样的牛角勺伸向烧杯上方 2~3cm 处，牛角勺的另一端顶在掌心上，用拇指、中指及掌心拿稳牛角勺，并用食指轻弹勺柄，将试样慢慢抖入容器中，直至天平显示数字为 0.5000g（误差范围 ≤ 2mg），记录试样的实际质量。

③称量后，取出小烧杯。

④将小烧杯移开后，天平显示负值，复按“TAR”键，天平显示 0.0000g。

⑤依次连续操作，称出第二、第三份试样。

4. 减量称量法　称取质量范围为 0.2~0.4g 硅胶粉末，置于烧杯中。方法一为：

①用清洁的纸条叠成约 1cm 宽的纸带，用纸带套住称量瓶，用纸片夹住瓶盖柄打开瓶盖，将稍多于需要量的试样用牛角匙加入称量瓶〔（在台秤上粗称以了解加入的试样量）中，盖上瓶盖，把称量瓶放到天平称盘的正中位置，读取称量瓶加试样的准确质量（准确到 0.1mg）〕。记下读数设为 W_1g。

②然后左手仍用纸带将称量瓶从称盘上拿到烧杯上方，右手用纸片夹住瓶盖柄打开瓶盖，将瓶身慢慢向下倾斜，并用瓶盖轻轻敲击瓶口，使试样慢慢落入接受器内，不要把试样撒在接受器外。

③估计倾出的试样已接近所要求的质量时（可从体积上估计），慢慢将称量瓶竖起，用盖轻轻敲瓶口，使黏附在瓶口上部的试样落入瓶内，然后盖好瓶盖，将称量瓶再放回天平盘上称量。如果这时倾出的试样质量不足，则继续按上法倾出，直至合适为止。读取称量瓶和剩余样品的质量 W_2g。则称取样品的质量为 W_1~W_2g。

方法二为：

①用清洁的纸条叠成约 1cm 宽的纸带，用纸带套住称量瓶（内盛有所需硅胶试样）。

②将盛有需称物质的称量瓶置于称盘，待显示屏所显示的数值稳定不变后，记录读数按一下“TAR”清零（去皮）键使所显示的数值又变为 0.0000g。

③用纸条套住称量瓶将其从天平中取出，用短纸条套住瓶盖柄，如图连续敲击瓶口边缘、控制好药品流出速度。

估计倒出试样量达到要求后，在不断敲击下慢慢竖起称量瓶、竖起后再敲几下（以免称量瓶离开烧杯时瓶沿上的粉末撒在外边）。盖上瓶盖，将瓶放回秤盘上试重。将瓶放回秤盘时显示屏所显示的数值即为已敲出的试样质量（数据值显“—”值表示称量瓶内样品已被取出实际质量）。

若敲出的量比要求的量小，需再取出瓶敲取（不要按任何键）、直至达到要求量为止。

若要称取第二份试样，按“去皮”键、显示“0.0000g”后，重复以上过程即可。

实验结果与数据处理

见表 4-2。

表 4-2 称量练习数据记录表

编号	直接法试样质量（g）	固定质量法 NaCl 试样质量（g）	减量法称量硅胶试样质量（g）
1			
2			

注意事项

1. 电子天平是精密仪器，应小心使用。实验中应严格遵守天平使用操作规则。天平出现故障时，应及时报告指导老师或实验室工作人员，不得擅自处理。实验结束，检查无误后按规定填写使用登记。

2. 不能将过热的或过冷的物体放在天平内称量。

3. 被称物及砝码应放在称盘正中。称量重量不得超过天平的最大载荷。

4. 称量完毕，应将天平复原。

思考题

1. 电子天平称量在什么情况下采用直接称量法？

2. 电子天平称量，在什么情况下采用固定称量法称量？

3. 在实验中，电子天平称量结果应记录至哪一位？为什么？

（杨　梅）

实验三　溶液的配制

实验目的

1. 掌握　溶液的配制方法。

2. 熟悉　溶液浓度的计算方法。

3. 学会　取用固体试剂的操作方法，取液体试剂的操作方法。

实验内容及原理

由固体物质配制成一定体积一定浓度的溶液基本程序：计算、称量、溶解、转移、定容、保存。

由浓溶液中加入溶剂稀释为一定体积一定浓度的溶液基本程序：计算、取液、定容、保存。

如果实验对溶液的准确性要求不高，一般利用台秤、量筒等低准确度的仪器配制溶液，称之为粗配。

粗配溶液选用仪器：称量—台秤，取液—量筒，定容—量筒。

如果实验对溶液的准确性要求较高，如定量分析实验，就需使用分析天平、移液管、吸量管、容量瓶等高准确度的仪器配制溶液。称之为精配。

精配溶液选用仪器：称量—分析天平，取液—移液管或吸量管，定容—容量瓶。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

台秤，量筒（10ml、100ml），烧杯（100ml、250ml），吸量管（10ml），容量瓶（250ml），玻棒，胶头滴管。

（二）实验耗材

NaCl（固体），95% 酒精，0.2500mol/L 铁铵矾溶液。

实验方法及步骤

（一）吸量管、容量瓶使用练习

1. 吸量管的使用练习　取一支 10ml 吸量管，用自来水练习吸液、放液操作，直至熟练为止。

2. 容量瓶的使用练习　取一个容量瓶，检查是否漏水，练习振摇操作。

（二）溶液配制

1. 配制生理盐水 100ml　0.9% NaCl 溶液称为生理盐水。计算出配制 100ml 生理盐水所需固体 NaCl 的质量，在台秤上称取所需的 NaCl 固体，置于烧杯中。用少量水将其溶解后转入 100ml 量筒中，用蒸馏水洗涤烧杯和玻棒 3~4 次，清洗液一并转入量筒，再慢慢加水至刻度，摇匀。经老师检查后，将配制好的生理盐水倒入指定的试剂瓶中。

2. 配制 75% 的酒精溶液 10ml　选用 95% 的酒精溶液，计算出配制 75% 的酒精 10ml 所需 95% 的酒精的体积。用 10ml 量筒量取所需 95% 酒精体积量，然后边加水稀释边用玻棒搅拌，直至溶液体积达到 10ml 刻度为止。经老师检查后，将配制好的 75% 的酒精溶液倒入指定的回收瓶中。

3. 配制 0.010 00mol/L 铁铵矾溶液 250.0ml　选用 0.2500mol · L^{-1} 铁铵矾溶液，计算出配制 0.010 00mol/L 铁铵矾溶液 250.0ml 所需 0.2500mol/L 铁铵矾溶液的体积。用 10ml 吸量管取少量 0.2500mol/L 铁铵矾溶液润洗 2~3 次后，吸取所需 0.2500mol/L 铁铵矾溶液体积量，置于 250ml 容量瓶中，加水至刻度至刻线以下约 1cm 处，改用胶头滴管加水至溶液弯月面下缘与标线水平相切。摇匀。经老师检查后，将配制好的 0.010 00mol/L 铁铵矾溶液倒入指定的试剂瓶中。

思考题

1. 由固体物质配制成一定体积一定浓度的溶液时，溶质在烧杯中溶解并转移至量器后，为什么还要将烧杯洗涤 2~3 次的洗液都转入量器中？

2. 用量筒（或容量瓶）配制溶液时，若加蒸馏水超过了刻度线，倒出一些溶液再重新加蒸馏水到刻度线，这种做法对吗？为什么？

3. 对易水解盐类溶液的配制如 $SnCl_2$、$BiCl_3$、$Bi(NO_3)_3$ 等应如何选用溶解介质？

4. 稀释浓硫酸时，要注意哪些问题？

（杨联敏）

实验四 药用氯化钠的制备

实验目的

1. 掌握 用粗盐制备药用氯化钠的提纯方法和基本原理，Ca^{2+}、Mg^{2+} 、SO_4^{2-} 的鉴定方法。

2. 练习 称量、过滤、减压过滤、蒸发、结晶和干燥等基本操作。

实验内容及原理

化学试剂或医药上用于配制生理盐水用的 NaCl 都是以粗食盐为原料提纯的。粗食盐中含有不溶性杂质（如泥沙等）和可溶性杂质（主要是 Ca^{2+}、Mg^{2+}、 K^{+}、SO_4^{2-}）。

不溶性杂质，可用溶解和过滤的方法除去。

可溶性杂质可用下列方法除去：在粗食盐溶液中加入稍过量的 $BaCl_2$ 溶液时，即可将 SO_4^{2-} 转化为难溶解的 $BaSO_4$ 沉淀而除去：

$$Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$$

将溶液过滤，除去 $BaSO_4$ 沉淀。再加入 NaOH 和 Na_2CO_3 溶液，由于发生下列反应：

$$Mg^{2+} + 2OH^{-} = Mg(OH)_2\downarrow$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} = CaCO_3\downarrow$$

$$Ba^{2+} + CO_3^{2-} = BaCO_3\downarrow$$

食盐溶液中的杂质 Ca^{2+}、Mg^{2+} 以及沉淀 SO_4^{2-} 时加入的过量 Ba^{2+} 便相应转化为难溶的 $Mg(OH)_2$、$CaCO_3$、$BaCO_3$ 沉淀而通过过滤的方法除去。过量的 NaOH 和 Na_2CO_3 可以用纯盐酸中和除去。

少量可溶性的杂质（如 KCl）由于含量很少，在蒸发浓缩和结晶过程中仍留在溶液中，不会和 NaCl 同时结晶出来。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

台秤、烧杯（150ml）、普通漏斗、漏斗架、水泵、布氏漏斗、吸滤瓶、量筒（100ml）、蒸发皿、石棉网、试管、pH 试纸、滤纸、电炉。

（二）实验耗材

粗食盐、HCl（2.0mol/L）、Na_2CO_3（1.0mol/L）、NaOH（2.0mol/L）、$BaCl_2$（1.0mol/L）、$(NH_4)_2C_2O_4$（0.5mol/L）。

实验方法及步骤

1. 粗食盐的提纯

（1）在台秤上称取 8g 粗食盐，放入 100ml 烧杯中，加 30ml 蒸馏水，用玻璃棒搅动并加热使其溶解。至溶液沸腾时，在搅动下一滴一滴加入 1mol · $L^{-1}BaCl_2$ 溶液至沉淀完全（约 2ml），继续加热，使 $BaSO_4$ 颗粒长大而易于沉淀和过滤。为了试验沉淀是否完全，可将烧杯从石棉网上取下，待沉淀沉降后，在上层清液中加入 1~2 滴 $BaCl_2$ 溶液，观察澄清液中是否还有浑浊现象，如果无浑浊现象，说明 SO_4^{2-} 已完全沉淀，如果仍有浑浊现象，则需继续滴加 $BaCl_2$ 溶液，直至上层清液在加入 1 滴 $BaCl_2$ 后，不再产生浑浊现象为止。沉淀完全后，继续加热 5 分钟，以使沉淀颗粒长大易于沉降，用普通漏斗过滤。

（2）在滤液中加入 1ml 2mol · L^{-1}NaOH 和 3ml 1mol/L Na_2CO_3 加热至沸。待沉淀沉降后，在上层清液中加 1mol/L Na_2CO_3 溶液至不再产生沉淀为止，用普通漏斗过滤。

（3）在滤液中逐滴加入 2mol/L HCl，并用玻璃棒沾取滤液在 pH 试纸上试验，直至溶液呈微酸性为止（pH = 6）。

（4）将溶液倒入蒸发皿中，用小火加热蒸发，浓缩至稀粥状为止，但切不可将溶液蒸发至干。

（5）冷却后，用布氏漏斗过滤，尽量将结晶抽干。将结晶放在蒸发皿上，在石棉网上用小火加热干燥。

（6）称出产品的质量，并计算产量百分率。

2. 药用氯化钠的检验　取少量（约 1g）提纯前和提纯后的食盐，分别用 5ml 蒸馏水溶解，然后各盛于 3 支试管中，组成 3 组，对照检验它们的纯度。

（1）SO_4^{2-} 的检验　在第一组溶液中，分别加入 2 滴 $BaCl_2$ 溶液，观察现象。

（2）Ca^{2+} 的检验　在第二组溶液中，分别加入 2 滴 0.5mol/L $(NH_4)_2C_2O_4$ 溶液，观察现象。

（3）Mg^{2+} 的检验　向第三组溶液中，各滴加 5 滴 2mol/L NaOH 溶液和 2 滴镁试剂，观察有无蓝色沉淀生成。

思考题

1. 怎样除去粗食盐中的杂质和 Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^+、SO_4^{2-} 等离子？
2. 怎样除去过量的沉淀剂和 $BaCl_2$、NaOH、Na_2CO_3？
3. 提纯后的食盐溶液浓缩时为什么不能蒸干？
4. 怎样检验提纯后的食盐？

（秦子平）

实验五　醋酸解离度和解离平衡常数的测定

实验目的

1. 了解　醋酸的解离度和解离平衡常数的测定方法

2. 加深　有关电离平衡基本概念的理解。

3. 学会　正确地使用 pH 计。

实验内容及原理

醋酸 CH_3COOH（简写为 HAc）是一元弱酸，在溶液中存在下列解离平衡：

$$HAc \rightleftharpoons H^+ + Ac^-$$

忽略水的电离，其电离常数：

$$K_a = \frac{[H^+][Ac^-]}{[HAc]}$$

若 c 为 HAc 的起始浓度，$[H^+]$、$[Ac^-]$、$[HAc]$ 分别为 H^+、Ac^-、HAc 的平衡浓度，α 为解离度，K_a 为解离平衡常数。

在 HAc 溶液中，$[H^+]=[Ac^-]=c\alpha$、$[HAc]=c(1-\alpha)$，

$$则\ \alpha = \frac{[H^+]}{c} \times 100\%$$

$$K_a = \frac{[H^+][Ac^-]}{[HAc]} = \frac{[H^+]^2}{c-[H^+]}$$

因 HAc 是弱酸，解离很少。 当 $c/K_a \geqslant 500$ 时，$c-[H^+] \approx c$，故$K_a \approx \frac{[H^+]^2}{c}$。

测定了已知浓度的 HAc 溶液的 pH，可计算 $[H^+]$，$[H^+]=10^{-pH}$，从而可以求出它的解离度 α 和解离平衡常数 。

也可由 ，计算出 HAc 的解离常数 。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

移液管、吸量管、容量瓶、碱式滴定管、锥形瓶、烧杯、酸度计。

（二）实验耗材

醋酸溶液（浓度约为 0.1mol/L），NaOH 标准溶液，标准缓冲溶液（pH = 6.86 或 4.00），酚酞溶液。

实验方法及步骤

1. 测定醋酸溶液的准确浓度　用移液管准确移取 25.00ml 醋酸溶液（V_{HAc}）于锥型瓶中，加入 2~3 滴酚酞指示剂，用已知准确浓度的 NaOH 溶液（c_{NaOH}）滴定，边滴边摇，待溶液呈浅红色，且半分钟内不褪色即为终点。由滴定管读出所消耗的 NaOH 溶液的体积 V_{NaOH}，根据关系式 $c_{NaOH}V_{NaOH}=c_{HAc}V_{HAc}$，可求出醋酸溶液的浓度 c_{HAc}。平行做三份，计算出醋酸溶液浓度的平均值。

醋酸溶液准确浓度的计算公式：$c_{HAc}=\dfrac{c_{NaOH}\times V_{NaOH}}{25.00}$

2. 配制不同浓度的醋酸溶液　分别用吸量管或移液管准确量取 5.00、25.00ml 上述醋酸溶液，分别置于两个 250ml 的容量瓶中，用蒸馏水稀释至刻度，摇匀。将两醋酸溶液分别标记为 1 号、2 号溶液。计算配得 1 号、2 号醋酸溶液的准确浓度。

3. pH 的测定　测定并记录溶液温度。

将上述 1 号、2 号溶液及未经稀释原醋酸溶液（标记为 3 号溶液）按浓度由低到高的顺序，分别用 pH 计测定它们的 pH。

4. 由测得的醋酸溶液 pH 计算醋酸的解离度、解离平衡常数。

数据记录与结果处理

见表 4–3，表 4–4。

表 4–3　NaOH 溶液的准确浓度

项目 \ 编号	1	2	3
NaOH 溶液终读数（ml）			
NaOH 溶液初读数（ml）			
消耗 NaOH 体积 V_{NaOH}（ml）			
醋酸溶液浓度 c_{HAc}（mol/L）			
醋酸溶液浓度平均值			

表 4–4　醋酸的解离度和解离常数

醋酸溶液温度____________

编号	c_{HAc}（mol/L）	pH	$[H^+]$(mol/L)	α	K_a
1					
2					
3					
解离平衡常数 K_a 平均值					

思考题

1. 用 pH 计测定醋酸溶液的 pH，为什么要按浓度由低到高的顺序进行？
2. 本实验中各醋酸溶液的 $[H^+]$ 测定可否改用酸碱滴定法进行？
3. 醋酸的解离度和解离平衡常数是否受醋酸浓度变化的影响？
4. 若所用醋酸溶液的浓度极稀，是否还可用公式 $K_a=\frac{[H_3O^+]^2}{c}$ 计算解离平衡常数？

（覃永余）

实验六　五水硫酸铜的制备和提纯

实验目的

掌握　$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 的制备方法，称量、溶解、过滤、结晶等基本操作，固体试剂和液体试剂的取用方法。

实验内容及原理

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 俗名胆矾，蓝色晶体，易溶于水，而难溶于乙醇，在干燥空气中可缓慢风化不同温度下会逐步脱水，将其加热至 260℃以上，可失去全部结晶水而成为白色的无水 $CuSO_4$ 粉末。

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 的制备方法有许多种，常见的有利用废铜粉焙烧氧化的方法制备硫酸铜（先将铜粉在空气中灼烧氧化成氧化铜，然后将其溶于硫酸而制得硫酸铜）；也有采用浓硝酸作氧化剂，用废铜与硫酸、浓硝酸反应来制备硫酸铜。本实验是通过粗 CuO 粉末和稀 H_2SO_4 反应来制备硫酸铜。反应式：

$$CuO + H_2SO_4 = CuSO_4 + H_2O$$

由于 $CuSO_4$ 的溶解度随温度的改变有较大变化，所以可以利用蒸发浓缩和冷却的方法得到 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 晶体。

制备的粗硫酸铜含有一些可溶性和不溶性杂质。不溶性杂质可在溶解、过滤过程中除去，可溶性杂质常用化学方法除去。如 Fe^{2+} 和 Fe^{3+}，一般是先将 Fe^{2+} 用氧化剂（如 H_2O_2 溶液）氧化为 Fe^{3+}，然后调节溶液 pH ≈ 3，再加热煮沸，以 $Fe(OH)_3$ 形式沉淀除去。

$$2Fe^{2+} + 2H^+ + H_2O_2 = 2Fe^{3+} + 2H_2O$$

$$Fe^{3+} + 3H_2O = Fe(OH)_3\downarrow + 3H^+$$

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 在水中的溶解度，随温度的改变有较大变化，因此可采用蒸发浓缩，

冷却、结晶、过滤的方法，将混杂在粗 $CuSO_4$ 的一些杂质留在母液中而除去，最终得到纯度较高的水合硫酸铜晶体。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

试管、烧杯、量筒、蒸发皿、表面皿、玻棒、漏斗、布氏漏斗、抽滤瓶、酒精灯、电炉、石棉网、铁架台、铁圈、托盘天平、滤纸、pH 试纸。

（二）实验耗材

H_2SO_4 溶液（3.0mol/L）、H_2O_2 溶液（3%）、NaOH 溶液（2.0mol/L）、粗 CuO（固体）。

实验方法及步骤

1. $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 粗品的制备　称取 2g 粗 CuO 粉末备用在洁净的蒸发皿中加入 10ml 3mol/L H_2SO_4 溶液，小火加热，边搅拌边用药勺慢慢撒入粗 CuO 粉末，直到 CuO 不再反应为止，如出现结晶，可随时补加少量蒸馏水。反应完毕，趁热过滤，并用少量蒸馏水冲洗蒸发皿及滤渣，将洗涤液和滤液合并，转移入洁净的蒸发皿中，放在石棉网上加热，不断搅拌，至液面出现结晶膜时停止加热，冷却后析出蓝色晶体即为粗品 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$。

用药匙将晶体取出，放在表面皿上，用滤纸轻压以吸干晶体表面的水分，称重，计算产率。

2. $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 的提纯　称取上述粗产品 5g，放入 100ml 烧杯中，加蒸馏水 20ml，不断搅拌，小火加热使其溶解，此时若加入 2~3 滴 1mol/L 的 H_2SO_4 溶液可加速溶解。

在溶液中慢慢加入 1ml 3% 的 H_2O_2 溶液，加热，边搅拌边滴加 2mol/L 的 NaOH 溶液来调节溶液 pH ≈ 4（用 pH 试纸检验），再加热一会儿，放置（其中的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 均以 $Fe(OH)_3$ 形式沉淀，检查是否沉淀完全），倾析法过滤，将滤液直接用洁净的蒸发皿收集，并用少量蒸馏水冲洗烧杯、玻璃棒及滤渣，收集滤液。

在滤液中滴加 1mol/L 的 H_2SO_4 溶液，调节 pH ≈ 1~2，将溶液置于小火上缓慢蒸发，浓缩至液面出现结晶膜时停止加热，稍放置，将蒸发皿放在盛有冷水的烧杯上冷却，析出蓝色 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 晶体，减压抽滤，尽量抽干，取出晶体，并用干净滤纸轻轻挤压晶体除去少量水分，将晶体称重，计算产率（回收母液）。

注意事项

1. 趁热过滤时，要先将过滤装置准备好，滤纸待抽滤时再润湿。

2. 双氧水应缓慢分次滴加，以免过量。

3. 加热浓缩产品时表面有晶膜出现即可，不可将溶液蒸干。

4. 蒸发浓缩溶液可以直接加热，也可以用水浴加热的方法。选择时主要考虑溶剂、溶质的性质和溶质的热稳定性、氧化还原稳定性等。如 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 受热时分解（热稳定性）。

$$CuSO_4 \cdot 5H_2O = CuSO_4 \cdot 3H_2O + 2H_2O \quad (375K)$$

$$CuSO_4 \cdot 3H_2O = CuSO_4 \cdot H_2O + 2H_2O \quad (386K)$$

$$CuSO_4 \cdot H_2O = CuSO_4 + H_2O \quad (531K)$$

实验者对蒸发速度的要求是其次的考虑，当希望溶液平稳地蒸发，也用水浴加热，沸腾后溶液不会溅出，当然，蒸发速度相对要慢些。

思考题

1. 提纯 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 产品时调节 pH ≈ 4 的目的是什么？
2. 实验中加热浓缩溶液时，是否可将溶液蒸干？为什么？
3. 如何计算 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 晶体的理论产量？

（石灵高）

实验七　胶体溶液

实验目的

1. 掌握　实验室制备氢氧化铁胶体的实验操作技能和方法。
2. 探究　胶体的重要性质——丁达尔效应，学会用简单的方法鉴别胶体和溶液。
3. 培养　由宏观实验现象推测微观粒子大小的能力。

实验内容及原理

当可见光束通过胶体时，可以看到一条光亮的“通路”，这条光亮的“通路”是由于胶体粒子对光线的散射形成的，这种现象称为“丁达尔效应”，利用丁达尔效应是区分胶体和其他分散系的一种常用物理方法。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

铁架台（配铁圈）、石棉网、烧杯、试管、试管夹、酒精灯、火柴、量筒、胶头滴管、激光笔、玻璃棒、漏斗、滤纸、石墨电极。

（二）实验耗材

$FeCl_3$ 饱和溶液、$CuSO_4$ 溶液、泥水、1.0mol/L HCl 溶液、水玻璃（$NaSiO_3$ 水溶液）、蒸馏水、U 形管、0.01mol/L KNO_3 溶液、$MgSO_4$ 溶液。

实验方法及步骤

（一）胶体的制备

实验步骤	实验现象	结论、解释或化学方程式
1. 制备 $Fe(OH)_3$ 胶体：在洁净的小烧杯里加入约 50ml 蒸馏水，加热至微沸，然后向沸水中逐滴加入 1ml $FeCl_3$ 饱和溶液，不断振荡（但不能用玻璃棒搅拌，并不宜使液体沸腾时间太长，以免生成沉淀），继续煮沸直到液体呈深红褐色，停止加热	$FeCl_3$ 饱和溶液呈____色 $Fe(OH)_3$ 胶体呈____色	制备 $Fe(OH)_3$ 胶体的化学方程式为________
2. 制取硅酸（H_2SiO_3）溶液：在一个大试管里装入 5~10ml、1mol/L 盐酸并加入 1ml 的水玻璃，然后用力振荡，即得硅酸的胶体	硅酸胶体呈____色	制备硅酸胶体的化学方程式为________

（二）胶体的性质

1. $Fe(OH)_3$ 胶体、$CuSO_4$ 溶液和泥水的外观比较：另取两个小烧杯分别加入约 25ml $CuSO_4$ 溶液、25ml 泥水，观察比较 $Fe(OH)_3$ 胶体、$CuSO_4$ 溶液和泥水	$Fe(OH)_3$ 胶体、$CuSO_4$ 溶液都是____的液体，泥水是____的液体。静置，____的分散质会下沉	$Fe(OH)_3$ 胶体和 $CuSO_4$ 溶液在外观上____。三种分散系中最不稳定的是____，分散质粒子最大的是____
2. $Fe(OH)_3$ 胶体、泥水的过滤（按过滤的装置和操作方法）：将 $Fe(OH)_3$ 胶体和泥水分别进行过滤，观察现象	过滤后的滤纸上：$Fe(OH)_3$ 胶体____，泥水____	$Fe(OH)_3$ 胶体的分散质粒子____透过滤纸孔隙，泥水的分散质不能。这说明胶体和浊液中分散质粒子的大小顺序是
3. 丁达尔效应：把盛有 $CuSO_4$ 溶液和 $Fe(OH)_3$ 胶体的烧杯置于暗处，分别用激光笔照射烧杯中的液体，在与光束垂直的方向进行观察	光束照射时：$Fe(OH)_3$ 胶体____，$CuSO_4$ 溶液中____	胶体有____，而溶液不具备这种性质，这是胶体与其他分散系本质的区别
4. 电泳现象：将 $Fe(OH)_3$ 胶体倒入 U 形管中，用胶头滴管沿 U 形管壁缓慢地向左右管 $Fe(OH)_3$ 胶体液面上轮流交替加入 0.01mol/L KNO_3 溶液，使其高度各约 4cm 为止（务使界面清晰），然后插入碳棒电极，使与胶体液面相隔 1cm 左右。在电极两端加上直流电压，观察两电级附近界面高度变化	现象： 阴极：________ 阳极：________	结论：________ 可能的原因：________

续表

5. 胶体的聚沉： （1）在一个试管里加入 3ml $Fe(OH)_3$ 胶体，再加入 $MgSO_4$ 溶液，振荡，观察现象。 （2）在一个试管里加入 3ml $Fe(OH)_3$ 胶体，再加入 3ml 硅酸胶体，振荡，观察现象。 （3）在一个试管里加入 3ml $Fe(OH)_3$ 胶体，用试管夹夹住，在酒精灯上加热，观察现象	现象： （1）________ （2）________ （3）________	结论：________ ________ ________ ________

实验结果与分析

1. 溶液、胶体和浊液中分散质粒子的大小顺序是________，三种分散系的稳定性顺序________，三种分散系的本质区别是________。

2. 胶体的性质有：______、______、______。

注意事项

1. 常见的分散系

分散系	溶液	胶体	浊液
分散质粒子大小	< 1nm	1~100nm	> 100nm
主要特征	均一、稳定、透明	均一、介稳性、透明	不均一、不稳定、不透明
举例	食盐水、酒精水溶液	牛奶、豆浆	泥水、河水

2. $Fe(OH)_3$ 胶体的制备实验中，要注意以下几个方面

（1）要用蒸馏水，不能用自来水，自来水中有电解质会使胶体发生凝聚。

（2）$FeCl_3$ 溶液要饱和但不能浑浊。

（3）逐滴滴加 $FeCl_3$ 溶液要不断振荡，但不能用玻璃棒搅拌。

（4）$FeCl_3$ 不能过量，因 $FeCl_3$ 本身是电解质，过量的 $FeCl_3$ 也能使胶体发生凝聚。

（5）不能使液体沸腾时间过长，以免生成沉淀，加热过度会使胶粒运动加快，发生凝聚。

思考题

1. 怎么判断某一种胶体是正溶胶还是负溶胶？

2. 胶体为什么具有稳定性？如何使溶胶聚沉？举出两个在日常生活中破坏溶胶的实例。

（蒙衍强）

实验八　化学反应速率与化学平衡

实验目的

1. 测定　过二硫酸铵与碘化钾反应的速率，计算反应级数、反应速率常数和活化能。

2. 试验　浓度、温度、催化剂对反应速率的影响。

实验内容及原理

过二硫酸铵溶液与碘化钾溶液发生反应：

$$S_2O_8^{2-} + 2I^- = 2SO_4^{2-} + I_2 \qquad (1)$$

反应的平均速率 v 与反应物浓度的关系为：

$$v = -\frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = k[S_2O_8^{2-}]^m[I^-]^n$$

式中 $\Delta[S_2O_8^{2-}]$ 为 Δt 时间内 $S_2O_8^{2-}$ 浓度的改变量，$[S_2O_8^{2-}]$ 和 $[I^-]$ 分别为两种离子的初始浓度。k 为反应速率常数。（$m+n$）为反应级数。

为了测出 Δt 时间内 $S_2O_8^{2-}$ 浓度的改变量，在过二硫酸铵与碘化钾混合前，先在碘化钾溶液中加入一定体积已知浓度的硫代硫酸钠溶液和淀粉溶液。这样，由反应（1）生成的碘被硫代硫酸钠还原：

$$2\,S_2O_3^{2-} + I_2 = S_4O_6^{2-} + 2\,I^- \qquad (2)$$

反应（1）为慢反应，而反应（2）进行得非常快，瞬间完成。由反应（1）生成的 I_2 立即与 $S_2O_3^{2-}$ 作用，生成无色的 I^- 和 $S_4O_6^{2-}$。因此，在反应开始一段时间内，看不到碘与淀粉作用的蓝颜色。但是，一旦硫代硫酸钠耗尽，由反应（1）继续生成的微量碘立即与淀粉作用，使溶液变蓝。

从反应方程式（1）和（2）的关系可以看出，消耗 $S_2O_8^{2-}$ 的浓度为消耗 $S_2O_3^{2-}$ 浓度的一半。即

$$\Delta[S_2O_8^{2-}] = -\frac{\Delta[S_2O_3^{2-}]}{2}$$

当硫代硫酸钠耗尽时，$\Delta[S_2O_3^{2-}]$ 就是开始时 $Na_2S_2O_3$ 的浓度。

在本实验中，每份混合溶液中 $Na_2S_2O_3$ 的起始浓度都是相同的，因而 $\Delta[S_2O_3^{2-}]$ 不变。因此，只要记下反应开始到溶液出现蓝色所需要的时间 Δt，即可求出反应速率。

$$v = -\Delta[S_2O_8^{2-}]\Delta t$$

根据反应速率方程：$v = k\,[S_2O_8^{2-}]^m\,[I^-]^n$

利用求出的反应速率 v，就可以计算 m 和 n，进一步可求出速率常数 k 值。

反应速率常数 k 与反应温度 T 有如下关系：

$$\lg k = -\frac{E_a}{2.303RT} + A$$

式中 E_a 为反应的活化能，R 为气体常数，T 为绝对温度。测出不同温度下的 k 值，以 $\lg k$ 对 $1/T$ 作图可得一直线，由直线的斜率可求出反应的活化能 E_a 值。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

温度计、秒表、恒温水浴锅、烧杯、量筒、搅拌棒、试管。

（二）实验耗材

KI（0.20mol/L）、KNO_3（0.20mol/L）、$(NH_4)_2S_2O_8$（0.20mol/L）、$(NH_4)_2SO_4$（0.20mol/L）、$Na_2S_2O_3$（0.010mol/L）、$Cu(NO_3)_2$（0.02mol/L）、2% 淀粉溶液、$FeCl_3$ 溶液（0.1mol/L）、KSCN 溶液（0.1mol/L）、$Hg(NO_3)_2$ 溶液（0.1mol/L）、KCl（固体）、$K_2Cr_2O_7$ 溶液（0.1mol/L）、NaOH 溶液（0.1mol/L）、HNO_3 溶液（0.1mol/L）、$BaCl_2$ 溶液（0.1mol/L）。

实验方法及步骤

（一）浓度对反应速率的影响

在室温下，用量筒分别量取 20ml 0.20mol/L 的 KI 溶液、8ml 0.010mol/L 的 $Na_2S_2O_3$ 溶液和 4ml 0.2 % 淀粉溶液，都加到 150ml 锥形瓶中，混匀。再用另一个量筒取 20ml 0.20mol/L 的 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液，快速加到盛混合溶液的 150ml 锥形瓶中，同时开动秒表，将溶液搅匀。当溶液刚出现蓝色时，立即停表，记下反应时间和温度。

用同样的方法按表 4-5 中的用量，完成序号 2、3 的其他实验。为使每次实验中溶液离子强度和总体积不变，不足的量分别用 0.20mol/L 的 KNO_3 溶液和 0.20mol/L 的

表 4-5　浓度对反应速率的影响

实验序号	1	2	3
反应温度（℃）			
$(NH_4)_2S_2O_8$（ml）	20	10	20
KI（ml）	20	20	10
$Na_2S_2O_3$（ml）	8	8	8
0.2% 淀粉（ml）	4	4	4
KNO_3（ml）	0	0	10
$(NH_4)_2SO_4$（ml）	0	10	0
反应时间（s）			

$(NH_4)_2SO_4$ 溶液补足。

其中，实验序号 1、2 的 KI 溶液浓度相同，而 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液浓度，实验序号 1 的比实验序号 2 大一倍；实验序号 1、3 的 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液浓度相同，而 KI 溶液浓度，实验序号 1 的比实验序号 3 大一倍。

（二）温度对反应速度的影响

按表 4–9 中实验序号 3 的用量，把 KI、$Na_2S_2O_3$、KNO_3 和淀粉溶液加到烧杯中，把 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液加到大试管中，并把它们放在比室温高 10℃的恒温水浴锅中，当溶液温度与水的温度相同时，把 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液迅速加到 KI 混合溶液中，记录反应时间。

在高于室温 20℃、30℃条件下，重复以上操作。将得到的四个温度下的反应时间记录于表 4–6。

表 4–6 温度对反应速率的影响

实验序号	3	4	5	6
反应温度（℃）				
反应时间（s）				

（三）催化剂对反应速率的影响

Cu^{2+} 可以使 $(NH_4)_2S_2O_8$ 氧化 KI 的反应速率加快。按表 4–8 中序号 3 的用量，先在混合溶液中加 2 滴 0.02mol/L 的 $Cu(NO_3)_2$ 溶液，混匀，然后迅速加入 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液，并记录反应时间。同没有加入 $Cu(NO_3)_2$ 溶液的相同条件反应比较催化剂对反应速率的影响。

（四）浓度对化学平衡的影响

1. 在试管中滴入几滴 0.1mol/L $FeCl_3$ 溶液和同量的 0.1mol/L KSCN 溶液，振荡后注入蒸馏水至得透明的红橙色溶液为止。另取试管四支，把此溶液分成大致相等的五份。

2. 用第一支试管作为颜色标准，分别在其他四支试管中，滴入 1ml 0.1mol/L $FeCl_3$ 溶液、1~2g KCl 晶体、1ml 0.1mol/L KSCN 溶液、1ml 0.1mol/L $Hg(NO_3)_2$ 溶液。振荡每支试管并与标准比较颜色，观察颜色有何变化？并加以解释。

（五）酸度对化学平衡的影响

1. 在试管中，加入 5ml 0.1mol/L $K_2Cr_2O_7$ 溶液，然后缓慢滴入 0.1mol/L NaOH 溶液，直到颜色改变为止，观察颜色有何变化？加以解释。

2. 在试管中，加入 5ml 0.1mol/L $K_2Cr_2O_7$ 溶液，然后缓慢滴入 0.1mol/L HNO_3 溶液，直到颜色改变为止，观察颜色有何变化？加以解释。

3. 在试管中，加入 5ml 0.1mol/L $K_2Cr_2O_7$ 溶液，然后滴入 2ml 0.1mol/L $BaCl_2$ 溶液，振荡后放置片刻，小心倾去上层清液，观察沉淀的颜色。

在另一支试管中加入 4ml 0.1mol/L $K_2Cr_2O_7$ 溶液和 1ml 0.1mol/L HNO_3 溶液，然后滴入 2ml 0.1mol/L $BaCl_2$ 溶液，振荡后放置片刻，小心倾去上层清液，观察沉淀的颜色。这两次沉淀颜色有何不同，加以解释。

实验结果与数据处理

（一）求反应速率常数 *k*

求出各反应的反应速率、反应级数 $m+n$、反应速率常数 k。填入表 4-7。

表 4-7　反应速率常数计算

实验序号	1	2	3
溶液总体积（ml）			
$-\Delta[S_2O_3^{2-}]$（mol/L）			
$-\Delta[S_2O_8^{2-}]$（mol/L）			
反应时间（Δt）			
反应速率（v）			
$[I^-]$（mol/L）			
$-[S_2O_8^{2-}]$（mol/L）			
反应级数（*）	m =		n =
反应速率常数（k）			
k 平均值			

*（m）和（n）取正整数

（二）求反应的活化能 E_a

计算不同温度下的反应速率常数 k 列于表 4-8，以 $\lg k$ 对 $1/T$ 作图，通过直线的斜率求出反应的活化能 E_a。

表 4-8　反应的活化能测算

实验序号	3	4	5	6
反应温度（K）				
$(1/T)\times 10^3$				
速度常数（k）				
活压能（E_a）				

思考题

1. 在浓度对反应速度的影响实验中，要求将 KI、$Na_2S_2O_3$ 溶液迅速倒入 $(NH_4)_2S_2O_8$ 溶液中，如果缓慢倒入，有何影响？

2. 在温度对反应速度影响实验中，根据你所得的结论能否判断这个反应是吸热反应或放热反应？

（马冬冬）

实验九　缓冲溶液

实验目的

1. 掌握　缓冲溶液的配制方法并试验其性质。
2. 熟悉　缓冲容量与总浓度、缓冲比之间的关系。
3. 学会　用 pH 试纸测定溶液 pH 的方法。

实验内容及原理

能够抵抗外加少量强酸、强碱或稀释而保持 pH 基本不变的溶液称为缓冲溶液。缓冲溶液是由共轭酸碱对组成的，其中弱酸为抗碱成分，共轭碱为抗酸成分。由于缓冲溶液中存在大量的抗酸成分和抗碱成分，所以能维持溶液 pH 的相对稳定。不同的缓冲溶液具有不同的缓冲范围，配制缓冲溶液时应根据所需 pH 选择合适的缓冲对，使共轭酸的 pK_a 值与要配制缓冲溶液的 pH 尽可能的相等或接近，这样才能使所配制缓冲溶液的 pH 在缓冲范围内，从而具有较强的缓冲能力。

当弱酸和共轭碱的浓度相等时，可以利用以下公式进行计算：

$$pH = pK_a + \lg \frac{V_{B^-}}{V_{HB}}$$

计算出所需弱酸 HB 溶液和其共轭碱 B^- 溶液的体积，将所需体积的弱酸溶液和其共轭碱溶液混合即得所需缓冲溶液。

缓冲溶液的缓冲能力用缓冲容量来衡量，缓冲容量越大，其缓冲能力就越强。缓冲容量与总浓度及缓冲比有关，当缓冲比一定时，总浓度越大，缓冲容量就越大；当总浓度一定时，缓冲比越接近 1，缓冲容量就越大，缓冲比等于 1 时，缓冲容量最大。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

大试管（10ml）、玻棒、广泛 pH 试纸、精密 pH 试纸、吸量管、洗耳球。

（二）实验耗材

HAc 溶液（0.1mol/L）、NaAc 溶液（0.1mol/L）、NaH_2PO_4 溶液（0.1mol/L）、Na_2HPO_4 溶液（0.1mol/L）、NH_4Cl 溶液（0.1mol/L）、$NH_3 \cdot H_2O$ 溶液（0.1mol/L）、HCl 溶液（0.1mol/L）、NaOH 溶液（0.1mol/L）、HAc 溶液（1.0mol/L）、NaAc 溶液（1.0mol/L）、NaOH 溶液（1.0mol/L）、0.1% 溴酚红指示剂（20% 乙醇溶液）。

十、实验方法及步骤

1. 缓冲溶液的配制　取干净的10ml大试管3支，标记为甲、乙、丙，按实验表4-12所示数量吸取液体，配制pH为5.00、7.00、9.00的缓冲溶液各10ml，备用。

用广泛pH试纸测定上述配得缓冲溶液pH并记录（表4-9）。

表4-9　缓冲溶液的配制

缓冲溶液	pH（理论）	pK_a	各组分体积	pH（实测）
甲	5.00	4.75	0.1mol/L HAc　3.60ml 0.1mol/L NaAc　6.40ml	
乙	7.00	7.21	0.1mol/L NaH_2PO_4　6.20ml 0.1mol/L Na_2HPO_4　3.80ml	
丙	9.00	9.25	0.1mol/L NH_4Cl　6.40ml 0.1mol/L $NH_3 \cdot H_2O$　3.60ml	

2. 缓冲溶液的缓冲作用　按照实验表4-10、实验表4-11和实验表4-12中的顺序添加试剂，用广泛pH试纸测定pH，并与加试剂前溶液pH比较，判断缓冲溶液的抗酸、抗碱和抗稀释能力。

（1）抗酸作用

表4-10　缓冲溶液的抗酸作用

试管号	试剂（3ml）	pH（实测）Ⅰ	加入试剂	pH（实测）Ⅱ	｜△pH｜	能否抗酸
1	甲缓冲溶液		2滴0.1mol/L HCl			
2	乙缓冲溶液					
3	丙缓冲溶液					
4	蒸馏水					

表中甲、乙、丙缓冲溶液的pH在配制时已测过，不需再测。｜△pH｜为pH（实测）Ⅰ与pH（实测）Ⅱ两者之差的绝对值。下列表4-11、表4-12与此相同。

（2）抗碱作用

表4-11　缓冲溶液的抗碱作用

试管号	试剂（3ml）	pH（实测）Ⅰ	加入试剂	pH（实测）Ⅱ	｜△pH｜	能否抗酸
1	甲缓冲溶液		2滴0.1mol/L HCl			
2	乙缓冲溶液					
3	丙缓冲溶液					
4	蒸馏水					

（3）抗稀释作用

表 4-12　缓冲溶液的抗碱作用

试管号	试剂（3ml）	pH（实测）Ⅰ	加入试剂	pH（实测）Ⅱ	｜△ pH｜	能否抗酸
1	甲缓冲溶液		5.00mol 蒸馏水			
2	乙缓冲溶液					
3	丙缓冲溶液					

3. 缓冲容量（β）的比较　按照实验表 4-13 和实验表 4-14 中的顺序添加试剂，用精密 pH 试纸测定 pH，判断缓冲容量与总浓度及缓冲比有何关系。

（1）与总浓度的关系

表 4-13　缓冲容量与总浓度的关系

序号	各组分体积	$c_{总}$	pH(实测)	2 滴甲基红	加 1.0mol/L NaOH 至呈黄色记录滴数	结论
1	0.1mol/L HAc 2.00ml 0.1mol/L NaAc 2.00ml	0.1				
2	1.0mol/L HAc 2.00ml 1.0mol/L NaAc 2.00ml	1.0				

（2）与缓冲比的关系

表 4-14　缓冲容量与缓冲比的关系

序号	各组分体积	c_{Ac^-}/c_{HAc}	pH（实测）	加入 1.0ml 1.0mol/L NaOH 后 pH（实测）	｜△ pH｜	结论
1	0.1mol/L HAc 5.00ml 0.1mol/L NaAc 5.00ml	1∶1				
2	0.1mol/L HAc 1.00ml 0.1mol/L NaAc 9.00ml	9∶1				

注意事项

1. 配制缓冲溶液时，应根据计算结果，用刻度吸管准确地移取共轭酸和共轭碱溶液。
2. 缓冲溶液在加入酸、碱及蒸馏水后，需搅拌均匀后再测定 pH。
3. 甲基红指示剂的变色范围为 4.4~6.2，pH < 4.4 呈红色，pH > 6.2 呈黄色。

思考题

1. 利用精密 pH 试纸测定溶液的 pH 时，应注意哪些问题？
2. 为什么在缓冲溶液中加入少量强酸或强碱，溶液的 pH 不发生明显的变化？
3. 影响缓冲容量的因素有哪些？

（王金铃）

实验十　解离平衡与沉淀反应

实验目的

1. 熟悉　难溶电解质的沉淀溶解平衡及溶度积原理的应用。

2. 了解　强弱电解质解离的差别及同离子效应。

3. 学习　pH 试纸的使用等基本操作。

实验内容及原理

1. 弱电解质的电离平衡及同离子效应　对于弱酸或弱碱 AB，在水溶液中存在下列平衡：$AB=A^{+}+B^{-}$，各物质浓度关系满足 $K^{\theta}=[A^{+}]\cdot[B^{-}]/[AB]$，$K^{\theta}$ 为电离平衡常数。在此平衡体系中，若加入含有相同离子的强电解质，即增加 A^{+} 或 B^{-} 离子的浓度，则平衡向生成 AB 分子的方向移动，使弱电解质的解离度降低，这种效应叫作同离子效应。

2. 盐类的水解反应　盐类的水解反应是由组成盐的离子和水解离出来的 H^{+} 或 OH^{-} 离子作用，生成弱酸或弱碱的过程。水解反应往往使溶液显酸性或碱性。如：弱酸强碱盐（碱性）、强酸弱碱盐（酸性）、弱酸弱碱盐（由生成弱酸弱碱的相对强弱而定）。通常加热能促进水解，浓度、酸度、稀释等也会影响水解。

3. 沉淀平衡

（1）溶度积　在难溶电解质的饱和溶液中，未溶解的固体及溶解的离子间存在着多相平衡，即沉淀平衡。$K_{sp}{}^{\theta}$ 表示在难溶电解质的饱和溶液中，难溶电解质的离子浓度（以其化学计量数为幂指数）的乘积，叫做溶度积常数，简称溶度积。根据溶度积规则可以判断沉淀的生成和溶解。若以 Q 表示溶液中难溶电解质的离子浓度（以其系数为指数）的乘积，那么，溶液中 $Q>K_{sp}{}^{\theta}$ 有沉淀析出或溶液过饱和；$Q=K_{sp}{}^{\theta}$ 溶液恰好饱和或达到沉淀平衡；$Q<K_{sp}{}^{\theta}$ 溶液无沉淀析出或沉淀溶解。

（2）分步沉淀　有两种或两种以上的离子都能与加入的某种试剂（沉淀剂）反应生成难溶电解质时，沉淀的先后顺序决定于所需沉淀剂离子浓度的大小，需要沉淀剂离子浓度较小的先沉淀，需要沉淀剂离子浓度较大的后沉淀，这种现象叫作分步沉淀。

（3）沉淀的转化　把一种难溶电解质转化为另一种难溶电解质，即把一种沉淀转化为另一种沉淀的过程叫沉淀的转化。一般来说，溶度积较大的难溶电解质容易转化为溶度积较小的难溶电解质。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

试管、烧杯、量筒、洗瓶、玻璃棒、酒精灯（或水浴锅）、pH 计。

（二）实验耗材

HCl（0.1mol/L、1.0mol/L、6.0mol/L），HAc（0.1mol/L、1.0mol/L），$NH_3 \cdot H_2O$（2mol/L），NaCl（0.1mol/L），Na_2CO_3（0.1mol/L），NaAc（1mol/L、固体），KI（0.001mol/L、0.1mol/L），K_2CrO_4（0.1mol/L），$MgCl_2$（0.1mol/L），0.2mol/L Na_2SO_4（0.001mol/L、0.2mol/L），$CaCl_2$（0.001mol/L、0.2mol/L），$AgNO_3$（0.1mol/L），NH_4Cl（0.1mol/L、饱和溶液），$SbCl_3$（或 $BiCl_3$）固体，锌粒（固体），酚酞溶液（1%），甲基橙（0.1%），pH 试纸。

实验方法及步骤

1. 强弱电解质溶液的比较　用 pH 试纸分别测定 HAc（0.1mol/L），HCl（0.1mol/L）溶液的 pH。然后在两支试管中分别加入 1ml 上述溶液，再各加入一小颗锌粒并加热，观察哪支试管中产生氢气的反应比较剧烈。

2. 同离子效应

（1）在两支试管中，各加 1ml 0.1mol/LHAc 溶液和 1 滴甲基橙指示剂，摇匀，观察溶液颜色；在一支试管中加入少量 NaAc 固体，振荡使之溶解，观察溶液颜色有何变化，与另一支试管溶液进行比较。

（2）在两支小试管中，各加 5 滴 0.1mol/L $MgCl_2$ 溶液，在其中一支试管中再加入 5 滴饱和 NH_4Cl 溶液，然后在两支试管各加入 5 滴 2.0mol/L $NH_3 \cdot H_2O$ 溶液，观察两支试管发生的现象，写出有关反应方程式并说明原因。

3. 盐类水解反应及其影响因素

（1）盐的水解与溶液的酸碱性　用 pH 试纸分别测 0.1mol/L NaCl、Na_2CO_3 溶液的 pH。写出水解的离子方程式。

（2）影响盐类水解反应的因素

①温度：取两支试管，分别加入 5 滴 1mol/L NaAc 溶液和 5 滴蒸馏水，并各加入 1 滴酚酞溶液，将其中一支试管用酒精灯（或水浴）加热，观察颜色变化，冷却后颜色又如何？解释原因。

②酸度：将少量 $SbCl_3$（或 $BiCl_3$）固体（火柴头大小即可）置于一个小试管中，加入 1ml 蒸馏水，有何现象产生？用 pH 试纸测定溶液的酸碱性。再向试管中加入几滴 6mol/L HCl, 观察沉淀是否溶解？最后将所得溶液再加入 2ml 蒸馏水稀释，又有什么变化？解释现象并写出有关反应方程式。

4. 溶度积规则的应用

（1）沉淀的生成

①取一支试管，加入 10 滴 0.001mol/L 的 Na_2SO_4 溶液，再缓慢加入 10 滴 0.001mol/L 的 $CaCl_2$ 溶液，观察现象。

②取另一支试管，加入 10 滴 0.2mol/L Na_2SO_4 溶液，再缓慢加入 10 滴 0.2mol/L $CaCl_2$ 溶液，观察有无沉淀的生成？试以溶度积规则解释上述现象。

（2）沉淀的溶解　在一支试管中，加入 5 滴 0.1mol/L $AgNO_3$ 溶液和 2 滴 0.1mol/L NaCl 溶液混合，观察现象，向沉淀中滴加 2mol/L $NH_3 \cdot H_2O$ 溶液，观察原有沉淀是否溶解？解释上述现象。

（3）分步沉淀　在一支试管中，加入 5 滴 0.1mol/L NaCl 和 2 滴 0.1mol/L K_2CrO_4 溶液，用蒸馏水稀释至 1ml，摇匀，逐滴加入 0.1mol/L $AgNO_3$ 溶液，边加边振摇，观察生成沉淀的颜色解释现象，写出相应方程式。

（4）沉淀的转化　在一支试管中，加入 5 滴 0.1mol/L $AgNO_3$ 溶液和 2 滴 0.1mol/L NaCl 溶液混合，观察现象，向沉淀滴加 0.1mol/L KI 溶液并搅拌，观察沉淀的颜色变化并写出有关反应方程式。

注意事项

1. 用 pH 试纸测定溶液的 pH 时，不可将 pH 试纸投入待测溶液中测试。
2. 实验时要注意试剂用量，否则可能观察不到现象。
3. 注意固体、液体取用的正确操作，以免试剂弄混和交叉污染。

思考题

1. 同离子效应对弱电解质的电离度和难溶电解质的溶解度各有何影响？
2. 试根据所给试剂设计实验：AgCl 沉淀的制备和溶解，写出具体步骤及相应方程式。

（牛　颖）

实验十一　氧化还原反应

实验目的

1. 熟悉　常用氧化剂还原剂的反应。
2. 了解　浓度对电极电势的影响，浓度、酸度对氧化还原反应的影响。

实验内容及原理

1. 氧化还原反应的本质是氧化剂和还原剂之间发生电子的转移。

2. 物质得失电子的能力，可用电极电势 ϕ 的相对高低来衡量。

3. ϕ 值较大的电对的氧化态物质可以与 ϕ 值较小的电对的还原态物质发生自发的氧化还原反应。

4. 在室温下，在稀硫酸溶液中，过氧化氢能定量地被 $KMnO_4$ 氧化，反应为

$$5H_2O_2 + 2MnO_4^- + 6H^+ = 2Mn_2O + 5O_2 + 8H_2O$$

用 $KMnO_4$ 标准溶液逐滴加入到一定量的 H_2O_2 溶液中，滴定至溶液呈微红色即为终点。根据 $KMnO_4$ 溶液的浓度和滴定所消耗的体积来计算 H_2O_2 的含量。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

量筒、滴管、试管（11 支）。

（二）实验耗材

H_2SO_4（1mol/L）、HNO_3（2mol/L 浓 ）、NaOH（6mol/L）、KBr（0.1mol/L）、$KMnO_4$（0.01mol/L）、$KMnO_4$（0.1mol/L）、$FeCl_3$（0.1mol/L）、Na_2SO_3（0.1mol/L）、KI（0.1mol/L）、$FeSO_4$（0.1mol/L）、KIO_3（0.1mol/L）、H_2O_2（3%）、HAc（6mol/L）、CCl_4、溴水、碘水、淀粉溶液。

实验方法及步骤

（一）氧化还原反应和电极电势

1. 在一支试管中加入 1ml KI（0.1mol/L）5 滴 $FeCl_3$（0.1mol/L），振荡后有何现象，再加入 0.5ml CCl_4 充分振荡，观察 CCl_4 层颜色有何变化？发生了什么反应？再往溶液中加入几滴 0.1mol/L $K_3[Fe(CN)_6]$，有何现象？

2. 往一支试管中分别加入 3 滴碘水，然后加入约 0.5ml 0.1mol/L $FeSO_4$ 溶液，摇匀后，注入 0.5ml CCl_4，充分震荡，观察 CCl_4 层有无变化。

根据以上实验结果，定性地比较，I_2/I^-，和 Fe^{3+}/Fe^{2+} 两个电对的电极电势的高低，何者为较强氧化剂？何者为较强还原剂？

（二）常见氧化剂和还原剂的反应

1. H_2O_2 的氧化性　在小试管中加入 0.5ml 0.1mol/L KI 溶液，再加 3 滴 1mol/L H_2SO_4 酸化，然后逐滴加入 3% H_2O_2 的溶液，振荡试管并观察现象，写出有关反应式。

2. $KMnO_4$ 的氧化性　在小试管中加入 0.5ml 0.1mol/L $KMnO_4$ 溶液，再加入 1mol/L H_2SO_4 酸化，然后滴加 3% H_2O_2 的溶液，振荡试管并观察现象，写出反应式。

（三）影响氧化还原反应的因素

1. 浓度对氧化还原反应的影响　在两支各盛有一锌粒的试管中，分别加入 1ml 浓

HNO_3 和数滴 2mol/L HNO_3 溶液，观察所发生的现象，不同浓度的 HNO_3 与 Zn 作用的反应物和反应速率有何不同？

2. 介质对氧化还原反应的产物影响　$KMnO_4$ 在不同介质中的反应：往三支试管中各加入 1ml 0.01mol/L $KMnO_4$ 溶液，然后往第一支试管中加入数滴 1mol/L H_2SO_4 使溶液酸化；第二支试管中加入数滴蒸溜水；第三支试管中加入数滴 6mol/L NaOH 溶液。然后各加入数滴 0.1mol/L Na_2SO_3 溶液，混合后观察溶液的颜色变化，写出反应方程式。

3. 酸度对氧化还原反应速率的影响　在两支各盛有 0.5ml 0.1mol/L KBr 溶液的试管中，分别加入 0.5ml 0.5mol/L H_2SO_4 和 6mol/L HAc 溶液，然后各加入 2 滴 0.01mol/L $KMnO_4$ 溶液，观察 2 支试管中紫色褪去的速度。分别写出有关反应方程式。

思考题

1. H_2O_2 为什么即可作氧化剂又可作还原剂？写出有关电极反应，说明 H_2O_2 在什么情况下可作氧化剂，在什么情况下可作还原剂？

2. 介质对 $KMnO_4$ 的氧化性有何影响？用本实验事实及电极电势予以说明。

3. 从实验结果讨论氧化还原反应和哪些因素有关。

（甘琳琳）

实验十二　配位化合物

实验目的

了解　配合物的生成和组成，配合物与简单化合物的区别，配位平衡及其影响因素。

实验内容及原理

由中心离子（或原子）与配体按一定组成和空间构型以配位键结合所形成的化合物称配合物。配位反应是分步进行的可逆反应，每一步反应都存在着配位平衡。

$$M + nR = MR_n \quad K_s = \frac{[MR_n]}{[M][R]^n}$$

配合物的稳定性可由 $K_{稳}$（即 K_s）表示，数值越大配合物越稳定。增加配体（R）或金属离子（M）浓度有利于配合物（MR_n）的形成，而降低配体和金属离子的浓度则有利于配合物的解离。如溶液酸碱性的改变，可能引起配体的酸效应或金属离子的水解等，就会导致配合物的解离；若有沉淀剂能与中心离子形成沉淀的反应发生，引起中心离子浓度的减少，也会使配位平衡朝离解的方向移动；若加入另一种配体，能与中心离子形成稳定性更好的配合物，则同样导致配合物的稳定性降低。若沉淀平衡中

有配位反应发生，则有利于沉淀溶解。配位平衡与沉淀平衡的关系总是朝着生成更难解离或更难溶解物质的方向移动。

配位反应应用广泛，如利用金属离子生成配离子后的颜色、溶解度、氧化还原性等一系列性质的改变，进行离子鉴定、干扰离子的掩蔽反应等。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

试管、白瓷点滴板。

（二）实验耗材

H_2SO_4（2mol/L），HCl（1mol/L），$NH_3 \cdot H_2O$（2mol/L、6mol/L），NaOH（0.1mol/L、2mol/L），$CuSO_4$（0.1mol/L、固体），KI（0.1mol/L），$BaCl_2$（0.1mol/L），$K_3Fe(CN)_6$（0.1mol/L），$NH_4Fe(SO_4)_2$（0.1mol/L），$FeCl_3$（0.1mol/L），KSCN（0.1mol/L），$(NH_4)_2C_2O_4$（饱和），$AgNO_3$（0.1mol/L），NaCl（0.1mol/L），KBr（0.1mol/L），$Na_2S_2O_3$（0.1mol/L），$FeSO_4$（0.1mol/L），邻菲罗啉（0.25%），Cl_4。

实验方法及步骤

1. 配合物的生成和组成

（1）配合物的生成　在试管中加入 0.5g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$（s），加少许蒸馏水搅拌溶解，再逐滴加入 2mol/L 的氨水溶液，观察现象，继续滴加氨水至沉淀溶解而形成深蓝色溶液，备用。写出相应的反应方程式。

（2）配合物的组成　取两支试管，各加入 5 滴上述深蓝色溶液，在其中一支试管中滴入 2 滴 0.1mol/L $BaCl_2$ 溶液，另一支试管滴入 2 滴 0.1mol/L NaOH 溶液，观察现象，写出反应方程式。

另取两支试管，各加入 5 滴 0.1mol/L $CuSO_4$ 溶液，然后分别向试管中滴入 2 滴 0.1mol/L $BaCl_2$ 溶液和 2 滴 0.1mol/L NaOH 溶液，观察现象，写出反应方程式。

比较二实验结果，分析该配合物的内界和外界组成，写出反应方程式。

2. 配合物与简单化合物、复盐的区别

（1）在一支试管中加入 10 滴 0.1mol/L $FeCl_3$ 溶液，再滴加 2 滴 0.1mol/L KSCN 溶液，观察溶液呈何颜色？

（2）用 0.1mol/L $K_3Fe(CN)_6$ 溶液代替 $FeCl_3$ 溶液，同法进行实验，观察现象是否相同。

3. 配位平衡及其移动

（1）取 2 支试管，各加入 8 滴自制的硫酸四氨合铜（Ⅱ）溶液，一支逐滴加入 1mol/L HCl 溶液，另一支滴加 2mol/L NaOH 溶液，观察现象，说明配离子 $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

在酸性和碱性溶液中的稳定性，写出有关的反应方程式。

（2）在一支试管中加入 2 滴 0.1mol/L $AgNO_3$ 溶液，按下列步骤进行实验：

①逐滴加入 0.1mol/L NaCl 溶液至沉淀刚生成；②逐滴加入 6mol/L 氨水至沉淀恰好溶解；③逐滴加入 0.1mol/L KBr 溶液至刚有沉淀生成；④逐滴加入 0.1mol/L $Na_2S_2O_3$ 溶液，边滴边剧烈振摇至沉淀恰好溶解；⑤逐滴加入 0.1mol/L KI 溶液至沉淀刚生成；⑥逐滴加入饱和 $Na_2S_2O_3$ 溶液，至沉淀恰好溶解。

写出每一步有关的反应方程式，比较几种沉淀的溶度积大小和几种配离子稳定常数大小讨论配位平衡与沉淀平衡的关系。

4. 配合物的应用　在小试管中（或白瓷点滴板上），滴加一滴 0.1mol/L $FeSO_4$ 溶液及 3 滴 0.25% 邻菲罗啉溶液，观察现象，此反应可作为 Fe^{2+} 离子的鉴定反应。

注意事项

在性质实验中一般来说，生成沉淀的步骤、沉淀量要少，即刚观察到沉淀生成就可以；使沉淀溶解的步骤，加入试液越少越好，即使沉淀恰好溶解为宜。因此，溶液必须逐滴加入，且边滴边摇，若试管中溶液量太多，可在生成沉淀后，离心沉降弃去清液，再继续实验。

思考题

1. 试总结影响配位平衡的主要因素。
2. 配合物与复盐的区别是什么？

（吕保樱）

实验十三　碱金属和碱土金属

实验目的

1. 比较　碱金属、碱土金属的活泼性。
2. 试验并比较　碱土金属氢氧化物和盐类的溶解性。
3. 练习　焰色反应并熟悉使用金属钾、钠的安全措施。

实验内容及原理

周期系第ⅠA 族元素称为碱金属，价电子层结构为 ns^1；周期系第ⅡA 族元素称为碱土金属，价电子层结构为 ns^2，这两组元素系周期系中最典型的金属元素，化学性质非常活泼，其单质都是强还原剂。

碱金属盐多数易溶于水，只有少数几种盐难溶，可利用它们的难溶性来鉴定 K^+、Na^+ 离子。

在碱土金属盐中，硝酸盐、卤化物、出酸盐易溶于水；碳酸盐、草酸盐等难溶。可利用难溶盐的生成和溶解性差异来鉴定 Mg^{2+}、Ca^{2+} 离子。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

烧杯、试管、小刀、镊子。

（二）实验耗材

1. 固体药品　钠、镁条、醋酸钠。

2. 液体药品　NaCl（1mol/L），KCl（1mol/L），$MgCl_2$（0.5mol/L），$CaCl_2$（0.5mol/L），$SrCl_2$（0.5mol/L），$BaCl_2$（0.5mol/L），新配制的 NaOH（2mol/L），氨水（6mol/L），NH_4Cl（饱和），Na_2CO_3（0.5mol/L），HCl（2mol/L），浓盐酸，HAc（2mol/L、6mol/L），H_2SO_4（2mol/L），K_2CrO_4（0.5mol/L）。

3. 材料　铂丝（或镍铬丝）、pH 试纸、钴玻璃、滤纸。

实验方法及步骤

（一）钠、镁的性质

1. 钠、镁与水的作用　用镊子取一小块金属钠，用滤纸吸干其表面的煤油，切去表面的氧化膜，立即将它们分别放入盛水的烧杯中。可将事先准备好的合适漏斗倒扣在烧杯上，以确保安全。观察钠与水反应的情况。反应终止后，滴入 1~2 滴酚酞试剂，检验溶液的酸碱性。写出反应方程式。

2. 现象和解释　取一小段镁条，用砂纸擦去表面的氧化物，放入一支试管中，加入少量冷水。观察有无反应。然后将试管加热，观察反应情况。加入几滴酚酞检验水溶液的酸碱性，写出反应式。

（二）镁、钙、钡的氢氧化物的溶解性

1. 在三支试管中，分别加入 0.5ml 0.5mol/L $MgCl_2$、$CaCl_2$、$BaCl_2$ 溶液，再各加入 0.5ml 2mol/L 新配制的 NaOH 溶液。观察沉淀的生成。然后把沉淀分成两份，分别加入 6mol/L 盐酸溶液和 6mol/L 氢氧化钠溶液，观察沉淀是否溶解，写出反应方程式。

2. 在试管中加入 0.5ml 0.5mol/L 氯化镁溶液，再加入 0.5mol/L $NH_3 \cdot H_2O$，观察沉淀的颜色和状态。往有沉淀的试管中加入饱和 NH_4Cl 溶液，又有何现象？为什么？写出反应方程式。

（三）钙、镁、钡等盐类的溶解度

1. 在三支试管中分别注入 0.5ml 的 0.5mol/L $MgCl_2$、$CaCl_2$ 和 $BaCl_2$ 溶液，再各滴入 0.5ml 的 0.5mol/L Na_2CO_3 溶液，有什么现象发生？然后往试管中分别滴加 2.0mol/L HAc 溶液，观察反应的现象。写出反应方程式。

2. 在三支试管中分别注入 0.5ml 的 0.5mol/L $MgCl_2$、$CaCl_2$ 和 $BaCl_2$ 溶液，再各滴入 0.5ml 0.5mol/L K_2CrO_4 溶液，有什么现象发生？然后往试管中分别滴加 2.0mol/L HCl 溶液，观察反应的现象。写出反应方程式。

3. 在三支试管中分别注入 0.5ml 的 0.5mol/L $MgCl_2$、$CaCl_2$ 和 $BaCl_2$ 溶液，再各滴入 0.5ml 2mol/L H_2SO_4 溶液，有什么现象发生？然后往试管中分别滴加 2.0mol/L HCl 溶液，观察反应的现象。写出反应方程式。

（四）碱金属、碱士金属元素的焰色反应

取一支镍丝（或镍铬丝），尖端弯成小环状，蘸以浓盐酸溶液在氧化焰中烧片刻，再浸入盐酸中，再灼烧，如此重复直至火焰无色。依照此法，分别蘸取 NaCl、KCl、$CaCl_2$、$SrCl_2$、$BaCl_2$ 溶液在氧化焰中灼烧，观察火焰的颜色。每进行完一种溶液的焰色反应后，均需蘸浓盐酸溶液灼烧镍丝（或镍铬丝），烧至火焰无色后，再进行新的溶液的焰色反应。

思考题

1. 怎样分离 K^+、Mg^{2+}、Ba^{2+}？

2. 金属钠为什么要浸在煤油中？

（岑春田）

实验十四　卤素、氧族元素

实验目的

1. 掌握　Cl^-，Br^-，I^- 离子的分离和鉴定，过氧化氢的氧化还原性、硫代硫酸钠的还原性和配位性。

2. 了解　卤素单质的性质和卤化氢制备方法及性质。

3. 试验　氯酸盐的氧化性。

实验内容及原理

卤素：F、Cl、Br、I、At 价电子层结构 ns^2np^5。

1. 卤素单质在化学性质上表现为强氧化性。

2. X^- 具有还原性　氯、溴、碘的氧化性的强弱顺序是 $Cl_2>Br_2>I_2$，卤化氢的还原性的顺序的是 HI>HBr>HCl，HBr 和 HI 能分别将浓硫酸还原为 SO_2 和 H_2S，Br^- 能被 Cl_2 氧化为 Br_2，Br_2 在溶液中呈黄色，I^- 能被 Cl_2 氧化为 I_2，I_2 在 CCl_4 溶液中呈紫色，当 Cl_2 过量时，被氧化为无色的 IO_3^-。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

烧杯、试管。

（二）实验耗材

1. 溶液　溴水、CCl_4、0.1mol/L KI、2mol/L NaOH、40％的 NaOH、 2mol/L H_2SO_4、0.1mol/L $FeCl_3$、0.1mol/L NaCl、2mol/L HNO_3、6mol/L HNO_3、0.1mol/L $AgNO_3$、0.1mol/L $Na_2S_2O_3$、3％的 H_2O_2、饱和 $KClO_3$ 溶液、浓 $NH_3 \cdot H_2O$、无水乙醇、乙醚。

2. 固体　碘 。

实验方法及步骤

1. 卤素单质性质

（1）碘的溶解性　取少量碘晶体放在试管中并加入 1~2ml 去离子水，观察溶液的颜色，再加入几滴 0.1mol/L KI 溶液，碘溶液的颜色有无变化？解释原因。继续加少量 CCl_4，振荡试管，观察水相和有机相颜色的变化。

（2）卤素的歧化反应　在碘水中滴加 2mol/L NaOH 溶液，观察现象。再加入数滴 2mol/L H_2SO_4 溶液，有何变化？

2. 卤化物的性质　I^- 的还原性：用 0.1mol/L $FeCl_3$ 溶液分别与 0.1mol/L KI 作用，观察有无 I_2 生成（如何检验）。

3. 氯酸盐氧化性　ClO_3^- 的氧化性：取 3 滴 0.1mol/L KI，加入 5 滴饱和 $KClO_3$，再逐滴加入 1∶1 H_2SO_4，观察颜色变化。

4. 过氧化氢的性质

（1）过氧化氢的氧化性　往试管中加入几滴 KI 溶液和 2mol/L H_2SO_4 溶液，然后滴加 H_2O_2 溶液，观察现象，写出反应方程式。

（2）过氧化氢的鉴定　向试管中加入 3％ H_2O_2 溶液 2ml，再加入 0.5ml 乙醚并用 0.1mol/L H_2SO_4 酸化，然后滴加 $K_2Cr_2O_7$ 溶液，观察生成过氧化铬的颜色。写出过氧化铬生成的方程式。

（3）过氧化氢的催化分解　往试管中加入少量 H_2O_2 溶液并微热，有什么现象？

然后往溶液中加入少量 MnO_2 固体，又有什么现象？

5. 硫代硫酸及其盐的性质

（1）与酸的反应　在试管中加入 5 滴 0.1mol/L $Na_2S_2O_3$ 溶液，再逐滴加入 2mol/L H_2SO_4，观察现象，写出反应方程式。

（2）硫代硫酸钠的还原性　向盛有 10 滴碘水的试管中逐滴加入 0.1mol/L $Na_2S_2O_3$，观察现象，写出反应方程式。

（3）硫代硫酸根的配位性　在小试管中加入几滴 0.1mol/L $AgNO_3$，再加入几滴 0.1mol/L NaCl 溶液，观察沉淀的生成。小心弃去清液，在沉淀中加入 0.1mol/L $Na_2S_2O_3$。观察现象，写出反应方程式。

思考题

氯酸盐在什么条件下有明显氧化性？

（张学东）

实验十五　氮族、碳族、硼族元素

实验目的

1. 掌握　不同氧化态氮的化合物的主要性质，硅酸盐、硼酸及硼砂的主要性质。

2. 练习　硼砂珠的有关实验操作。

实验内容及原理

让亚硝酸钠和稀硫酸反应可知亚硝酸盐可转化为亚硝酸，亚硝酸盐既有氧化性又有还原性与酸化的碘化钾溶液和高锰酸钾溶液反应会分别生成碘单质和 +2 价锰离子。通过硅酸水凝胶的生成实验掌握硅酸的性质。饱和硼酸加入甘油后 pH 减小；点燃硼酸晶体、乙醇浓硫酸的混合物，观察火焰为绿色。进行硼砂珠的制备反应，并分别粘上硝酸钴和三氯化铬，观察颜色变化，以此练习硼砂珠的有关操作。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

试管、烧杯、酒精灯、表面皿、铂丝。

（二）实验耗材

氯化铵、pH 试纸、1mol/L $NaNO_2$、1mol/L NH_4Cl、浓 HNO_3、1mol/L H_2SO_4、0.1mol/L KI、0.1mol/L $KMnO_4$、锌片、6mol/L 盐酸、氯化钙、硝酸钴、硫酸铜、硫酸镍、硫酸锌、

硫酸锰、硫酸亚铁、三氯化铁固体、饱和硼酸、甘油、乙醇、硼砂珠。

实验方法及步骤

（一）铵盐的热分解

1. 在一支干燥的硬质试管中放入约 1g 氯化铵，将试管垂直固定、加热，并用润湿的 pH 试纸横放在管口，观察试纸颜色的变化。在试管壁上部有何现象发生？解释现象，写出反应方程式。

2. 分别用硫酸铵和重铬酸铵代替氯化铵重复以上实验，观察并比较它们的热分解产物，写出反应方程式。

（二）气室法检验铵离子

将两滴 1mol/L NH_4Cl 溶液一个表面皿凹处，再将润湿的 pH 试纸贴于另一只表面皿凹处。向装有 NH_4Cl 溶液的表面皿中加一滴 NaOH 溶液，迅速将贴有试纸的表面皿倒扣其上。观察 pH 试纸变色情况。

（三）亚硝酸的氧化性和还原性

在试管中加入 3 滴 0.1mol/L KI 溶液，再加入 2 滴 1mol/L H_2SO_4 酸化，然后滴加 1mol/L 的 $NaNO_2$ 溶液，观察现象，写出反应方程式。

用 0.1mol/L $KMnO_4$ 溶液代替 KI 溶液重复上述实验，观察溶液的颜色有何变化，写出反应方程式。

（四）硝酸和硝酸盐

1. 硝酸与金属的作用　分别往 2 支各盛少量锌片的试管中加入 1ml 2mol/L HNO_3 溶液和 1ml 0.2mol/L HNO_3 溶液，观察两者反应速率和反应产物有何不同。检查第二支试管有无铵离子存在。

2. 硝酸盐的热分解　分别试验固体硝酸银、硝酸钾的热分解，观察反应的情况和产物的颜色，检验反应生成的气体，写出反应方程式。

（五）硅酸与硅酸盐

1. 硅酸水凝胶的生成　往 2ml 20% 硅酸钠溶液中滴加 6mol/L 盐酸，观察反应物的颜色、状态。

2. 微溶性硅酸盐的生成　在 100ml 的小烧杯中加入约 50ml 20% 的硅酸钠溶液，然后把氯化钙、硝酸钴、硫酸铜、硫酸镍、硫酸锌、硫酸锰、硫酸亚铁、三氯化铁固体各一小粒投入杯内（注意各固体之间保持一定间隔），放置一段时间后观察有何现象发生。生成的硅酸盐固体与液体的接触面形成半透膜，由于渗透压的关系，水不断渗入膜内，胀破半透膜使盐又与硅酸钠接触。反复渗透，硅酸盐生成芽状或树枝状，从而产生“水中花园”的现象。

影响水中花园的因素：

①温度：温度高，生长快。

②浓度：Na_2SiO_3 的浓度大，生长速度快，晶体上芽数目少。

③阴离子：同种盐，其阴离子不同，生长速度，芽的形状和数目不同。

④溶解度：溶解度过小的盐不长芽，过大的不产生的美丽的芽。

（六）硼酸

1. 硼酸与甘油产物的性质　取 1ml 饱和硼酸溶液，用 pH 试纸测其 pH。在硼酸溶液中滴入 3~4 滴甘油，再测溶液的 pH。

2. 硼酸的鉴定反应　在蒸发皿中放入少量硼酸晶体，1ml 乙醇和几滴浓硫酸。混合后点燃，观察火焰的颜色有何特征。

（七）硼砂珠试验

1. 硼砂珠的制备　用 6mol/L 盐酸清洗铂丝，然后将其置于氧化焰中灼烧片刻，取出再浸入酸中，如此重复数次直至铂丝在氧化焰中灼烧不产生离子特征的颜色，表示铂丝已经洗干净了。将这样处理过的铂丝蘸上一些硼砂珠固体，在氧化焰中灼烧并熔融成圆珠，观察硼砂的颜色、状态。硼砂为亮白色球体。

2. 用硼酸珠鉴定钴盐和铬盐　用烧热的硼砂珠分别沾上少量硝酸钴和三氯化铬固体，熔融之。冷却后观察硼砂珠的颜色，写出相应的反应方程式。

思考题

1. 设计三种区别硝酸钠和亚硝酸钠的方案。

2. 为什么装有水玻璃的试剂瓶长期敞开瓶口后水玻璃会变混浊？反应 $Na_2CO_3+SiO_2=Na_2SiO_3+CO_2\uparrow$ 能否正向进行？说明理由。

3. 现有一瓶白色粉末状固体，它可能是碳酸钠、硝酸钠、硫酸钠、氯化钠、溴化钠、磷酸钠中的任意一种。试设计鉴别方案。

（杨　梅）

实验十六　铬、锰、铁、钴、镍及其重要化合物

实验目的

1. 掌握　铬、锰、铁、钴、镍氢氧化物的酸碱性和氧化还原性，铬、锰重要氧化态之间的转化反应及其条件，铁、钴、镍配合物的生成和性质，锰、铁、钴、镍硫化物的生成和溶解性。

2. 学习 Cr^{3+}，Mn^{2+}，Fe^{3+}，Co^{2+}，Ni^{2+} 的鉴定方法。

实验内容及原理

铬、锰、铁、钴、镍是周期系第四周期第Ⅵ B~ Ⅷ族元素，它们都能形成多种氧化值的化合物。铬的重要氧化值为 +3 和 +6；锰的重要氧化值为 +2，+4，+6，+7；铁的重要氧化值为 +2 和 +3。

$Cr(OH)_3$ 是两性的氢氧化物。$Mn(OH)_2$ 和 $Fe(OH)_3$ 都很容易被空气中的 O_2 氧化，$Co(OH)_2$ 也能被空气中的 O_2 慢慢氧化。由于 Co^{3+} 和 Ni^{3+} 都具有强氧化性，$Co(OH)_3$，$Ni(OH)_3$ 与浓盐酸反应分别生成 Co（Ⅱ）和 Ni（Ⅱ），并放出氧气。$Co(OH)_3$ 和 $Ni(OH)_3$，通常分别由 Co（Ⅱ）和 Ni（Ⅱ）的盐在碱性调剂下用强氧化剂氧化得到，例如：

$$2Ni^{2+}+6OH^{-}+Br_2 \rightarrow 2Ni(OH)_3(s)+2Br^{-}$$

Cr^{3+} 和 Fe^{3+} 都易发生水解反应。Fe^{3+} 具有一定的氧化性，能与强还原剂反应生成。

酸性溶液中，Cr^{3+} 和 Mn^{2+} 的还原性都较弱，只有用强氧化剂才能将它们分别氧化为 $Cr_2O_7^{2-}$ 和 MnO_4^-。在酸性条件下利用 Mn^{2+} 和 $NaBiO_3$ 的反应可以鉴定 Mn^{2+}。

在碱性溶液中，$[Cr(OH)_4]^-$ 可被 H_2O_2 氧化为 CrO_4^{2-}。在酸性溶液中 CrO_4^{2-} 被转变为 $Cr_2O_7^{2-}$。$Cr_2O_7^{2}$ 与 H_2O_2 反应能生成深蓝色的，由此可以鉴定 Cr^{3+}。

在重铬酸盐溶液中分别加入 Ag^+，Pb^{2+}，Ba^{2+} 等，能生成相应的铬酸盐沉淀。

$Cr_2O_7^{2}$ 和 MnO_4^- 都具有强氧化性。酸性溶液中 $Cr_2O_7^{2-}$ 被还原为 Cr^{3+}。MnO_4^- 在酸性、中性、碱性溶液中的还原产物分别为 Mn^{2+}，MnO_2 沉淀和 MnO_4^{2-}。强碱性溶液中，MnO_4^- 与 MnO_2 反应也能生成 MnO_4^{2-}。在酸性甚至近中性溶液中，MnO_4^{2-} 被歧化为 MnO_4^- 和 MnO_2。在酸性溶液中，MnO_2 也是强氧化剂。

MnS、FeS、CoS、NiS 都能溶于稀酸，MnS 还能溶于 HAc 溶液。这些硫化物需要在弱碱性溶液中制得。生成的 CoS 和 NiS 沉淀由于晶体结构改变而难溶于稀酸。

铬、锰、铁、钴、镍都能形成多种配合物。Co^{2+} 和 Ni^{2+} 能与过量的氨水反应分别生成 $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ 和 $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$。$[Co(NH_3)_6]^{2+}$ 容易被空气中的 O_2 氧化为 $[Co(NH_3)_6]^{3+}$。Fe^{2+} 与 $[Fe(CN)_6]^{3-}$ 反应，或与 $[Fe(CN)_6]^{4-}$ 反应，都能生成蓝色的沉淀，分别用于鉴定 Fe^{2+} 和 Fe^{3+}。酸性溶液中 Fe^{3+} 与 SCN^- 反应也用于鉴定 Fe^{3+}。Co^{2+} 也能与 SCN^- 反应，生成不稳定的 $[Co(NCS)_4]^{2-}$，在丙酮等有机溶剂中较稳定，此反应用于鉴定 Co^{2+}。Ni^{2+} 与丁二肟在弱碱性条件下反应生成鲜红色的内配盐，此反应常用于鉴定 Ni^{2+}。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

离心机。

（二）实验耗材

HCl（2mol/L、6mol/L、浓），H_2SO_4（2mol/L、6 mol/L 、浓），HNO_3（6mol/L、浓），HAc（2mol/L ），H_2S（饱和），NaOH（2mol/L、6 mol/L 、40%），$NH_3 \cdot H_2O$（2mol/L、6mol/L ）$Pb(NO_3)_2$（0.1mol/L），$AgNO_3$（0.1mol/L ），$MnSO_4$（0.1mol/L、0.5mol/L ），$Cr_2(SO_4)_3$（0.1mol/L ），Na_2SO_3（0.1mol/L），Na_2S（0.1mol/L ），$CrCl_3$（0.1mol/L ），K_2CrO_4（0.1mol/L ），$K_2Cr_2O_7$（0.1mol/L），$KMnO_4$（0.01mol/L ），$BaCl_2$（0.1mol/L ），$FeCl_3$（0.1mol/L ），$CoCl_2$（0.1mol/L、0.5mol/L），$FeSO_4$（0.1mol/L），$SnCl_2$（0.1mol/L），$NiSO_4$（0.1mol/L、0.5mol/L ），KI（0.02mol/L），NaF（1mol/L），KSCN（0.1mol/L），$K_4[Fe(CN)_6]$（0.1mol/L ），$K_3[Fe(CN)_6]$（0.1mol/L），NH_4Cl（1mol/L ），$K_2S_2O_8$（s），MnO_2（s），$NaBiO_3$（s），PbO_2（s），$KMnO_4$（s），$FeSO_4 \cdot 7H_2O$（s），KSCN（s），戊醇，碘水，丁二酮肟，丙酮，淀粉溶液。

实验方法及步骤

1. 铬、锰、铁、钴、镍氢氧化物的生成和性质

（1）制备少量 $Cr(OH)_3$，检验其酸碱性，观察现象，写出有关的反应方程式。

（2）在 3 支试管中各加入几滴 0.1mol/L $MnSO_4$ 溶液和 2mol/L NaOH 溶液（均预先加热除氧），观察现象。迅速检验两支试管中 $Mn(OH)_2$ 的酸碱性，振荡第三支试管，观察现象。写出有关反应方程式。

（3）取 2ml 去离子水，加入几滴 2mol/L H_2SO_4 溶液，煮沸除去氧，冷却后加少量 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$（s）使其溶解。在另一支试管中加入 1ml 2mol/L NaOH 溶液，煮沸驱氧。冷却后用长滴管吸取 NaOH 溶液，迅速插入溶液底部挤出，观察现象。振荡后分 3 份，取两份检验酸碱性，另一份在空气中放置，观察现象。写出有关反应方程式。

（4）在 3 支试管中各加入几滴 0.5mol/L $CoCl_2$ 溶液，再逐滴加入 2mol/L NaOH 溶液，观察现象。离心分离，弃去清液，然后检验两支试管中沉淀的酸碱性，将第三支试管中的沉淀在空气中放置，观察现象。写出有关反应方程式。

（5）用 0.5mol/L $NiSO_4$ 溶液代替 $CoCl_2$ 溶液，重复实验（4）。

（6）制取少量 $Fe(OH)_3$，观察其颜色和状态，检验其酸碱性。

（7）取几滴 0.5mol/L $CoCl_2$ 溶液，加几滴溴水，然后加入 2mol/L NaOH 溶液，摇荡试管，观察现象。离心分离，弃去清液，在沉淀中滴加浓 HCl，并用淀粉—KI 试纸检查逸出的气体。写出有关反应方程式。

（8）用 0.5mol/L $NiSO_4$ 溶液代替 $CoCl_2$ 溶液，重复实验（7）。

通过实验（6）~（8）比较 Fe（Ⅲ）、Co（Ⅲ）、Ni（Ⅲ）氧化性的强弱。

2. Cr（Ⅲ）的还原性和 Cr^{3+} 的鉴定　取几滴 0.1mol/L $CrCl_3$ 溶液，逐滴加入 6mol/L NaOH 溶液至过量，然后滴加 3% 的 H_2O_2 溶液，微热，观察现象。待试管冷却后，再补加几滴 H_2O_2 和 0.5ml 戊醇（或乙醚），慢慢滴入 6mol/L HNO_3 溶液，摇荡试管，观察现象。写出有关反应方程式。

3. CrO_4^{2-} 和 $Cr_2O_7^{2-}$ 的相互转化

（1）取几滴 0.1mol/L $K_2Cr_2O_7$ 滴溶液，逐滴加入 2mol/L H_2SO_4 溶液，观察现象，再逐滴加入 2mol/L NaOH 溶液，观察有何变化。写出反应方程式。

（2）在两支试管中分别加入几滴 0.1mol/L K_2CrO_4 溶液和 0.1mol/L $K_2Cr_2O_7$ 溶液，然后分别滴加 0.1mol/L $BaCl_2$ 溶液，观察现象。最后再分别滴加 2mol/L HCl 溶液，观察现象。写出有关反应方程式。

4. $Cr_2O_7^{2-}$、MnO_4^-、Fe^{3+} 的氧化性与 Fe^{2+} 的还原性

（1）取 2 滴 0.1mol/L $K_2Cr_2O_7$ 溶液，滴加饱和 H_2S 溶液，观察现象。写出反应方程式。

（2）取 2 滴 0.01mol/L $KMnO_4$ 溶液，用 2mol/L H_2SO_4 溶液酸化，再滴加 0.1mol/L $FeSO_4$ 溶液，观察现象。写出反应方程式。

（3）取几滴 0.1mol/L $FeCl_3$ 溶液，滴加 0.1mol/L $SnCl_2$ 溶液，观察现象。写出反应方程式。

（4）将 0.01mol/L $KMnO_4$ 溶液与 0.5mol/L $MnSO_4$ 溶液混合，观察现象。写出反应方程式。

（5）取 2ml 0.01mol/L $KMnO_4$ 溶液，加入 1ml 40% 的 NaOH，再加少量 MnO_2（s），加热，沉降片刻，观察上层清液的颜色。取清液于另一试管中，用 2mol/L H_2SO_4 溶液酸化，观察现象。写出有关反应方程式。

5. 铬、锰、铁、钴、镍硫化物的性质

（1）取几滴 0.1mol/L $Cr_2(SO_4)_3$ 溶液，滴加 0.1mol/L Na_2S 溶液，观察现象。检验逸出的气体（可微热）。写出反应方程式。

（2）取几滴 0.1mol/L $MnSO_4$ 溶液，滴加饱和 H_2S 溶液，观察有无沉淀生成。再用长滴管吸取 2mol/L $NH_3 \cdot H_2O$ 溶液，插入溶液底部挤出，观察现象。离心分离，在沉淀中滴加 2mol/L HAC 溶液，观察现象。写出有关的反应方程式。

（3）在 3 支试管中分别加入几滴 0.1mol/L $FeSO_4$ 溶液，0.1mol/L $CoCl_2$ 溶液和 0.1mol/L $NiSO_4$ 溶液，滴加饱和 H_2S 溶液，观察有无沉淀生成。再加入 2mol/L

$NH_3 \cdot H_2O$ 溶液，观察现象。离心分离，在沉淀中滴加 2mol/L HCl 溶液，观察沉淀是否溶解。写出有关的反应方程式。

（4）取几滴 0.1mol/L $FeCl_3$ 溶液，滴加饱和 H_2S 溶液，观察现象。写出反应方程式。

6. 铁、钴、镍的配合物

（1）取 2 滴 0.1mol/L $K_4[Fe(CN)_6]$ 溶液，然后滴加 0.1mol/L $FeCl_3$ 溶液；取 2 滴 0.1mol/L $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液，滴加 0.1mol/L $FeSO_4$ 溶液。观察现象，写出有关的反应方程式。

（2）取几滴 0.1mol/L $CoCl_2$ 溶液，加几滴 1mol/L NH_4Cl 溶液，然后滴加 6mol/L $NH_3 \cdot H_2O$ 溶液，观察现象。摇荡后在空气中放置，观察溶液颜色的变化，写出有关的反应方程式。

（3）取几滴 0.1mol/L $CoCl_2$ 溶液，加入少量 KSCN 晶体，再加入几滴丙酮，摇荡后观察现象。写出反应方程式。

（4）取几滴 0.1mol/L $NiSO_4$ 溶液，滴加 2mol/L $NH_3 \cdot H_2O$ 溶液，观察现象。再加 2 滴丁二酮肟溶液，观察有何变化。写出有关的反应方程式。

7. 混合离子的分离与鉴定　试设计方法对下列两组混合离子进行分离和鉴定，图示步骤，写出现象和有关反应方程式。

（1）含 Cr^{3+} 和 Mn^{2+} 的混合溶液。

（2）可能含 Pb^{2+}、Fe^{3+} 和 Co^{2+} 的混合溶液。

思考题

1. 试总结铬、锰、铁、钴、镍氢氧化物的酸碱性和氧化还原性。
2. 在 $Co(OH)_3$ 中加入 HCl，有时会生成蓝色溶液，加水稀释后变为粉红色，试解释之。
3. 在 $K_2Cr_2O_7$ 溶液中加入 $Pb(NO_3)_2$ 和 $AgNO_3$ 溶液会发生什么反应？
4. 酸性溶液中 $K_2Cr_2O_7$ 分别与 $FeSO_4$ 和 Na_2SO_3 反应的主要产物分别是什么？
5. 酸性溶液、中性溶液、强碱性溶液中，$KMnO_4$ 与 Na_2SO_3 反应的主要产物分别是什么？
6. 试总结铬、锰、铁、钴、镍硫化物的性质。
7. 在 $CoCl_2$ 溶液中逐滴加入 $NH_3 \cdot H_2O$ 溶液会有何现象？
8. 怎样分离溶液中的 Fe^{3+} 和 Ni^{2+}？

（杨　梅）

实验十七　三氯化六氨合钴的制备

实验目的

1. 掌握　三氯化六氨合钴的制备方法，水浴加热、减压抽滤的操作方法。

2. 了解　Co（Ⅱ）、Co（Ⅲ）化合物的性质。

实验内容及原理

根据标准电极电势可知，在通常情况下，三价钴盐不如二价钴盐稳定；相反，在生成稳定配合物后，三价钴又比二价钴稳定。因此，常采用空气或 H_2O_2 氧化二价钴配合物的方法来制备三价钴的配合物。氯化钴（Ⅲ）的氨配合物有多种，主要是三氯化六氨合钴（Ⅲ），$[Co(NH_3)_6]Cl_3$ 橙黄色晶体；三氯化五氨·水合钴（Ⅲ），$[Co(NH_3)_5(H_2O)]Cl_3$ 砖红色晶体；二氯化氯·五氨合钴（Ⅲ），$[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$ 紫红色晶体等。它们的制备条件各不相同。在有活性炭为催化剂时，主要生成三氯化六氨合钴（Ⅲ）；在没有活性炭存在时，主要生成二氯化氯·五氨合钴（Ⅲ）。

本实验以活性炭为催化剂，用过氧化氢氧化有氨和氯化铵存在的氯化钴溶液制备三氯化六氨合钴（Ⅲ）。其反应式为：

$$2\,CoCl_2 + 2\,NH_4Cl + 10\,NH_3 + H_2O_2 = 2\,[Co(NH_3)_6)]Cl_3 + 2\,H_2O$$

三氯化六氨合钴（Ⅲ）是橙黄色单斜晶体，20℃时在水中的溶解度为 0.26mol/L。将粗产品溶于稀 HCl 溶液后，通过过滤将活性炭除去，然后在高浓度的 HCl 溶液中析出结晶：

$$[Co(NH_4)_6]^{3+} + 3Cl^- = [Co(NH_3)_6]Cl_3$$

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

锥形瓶、电炉、石棉网、研钵、量筒、托盘天平、滴管、抽滤瓶、布氏漏斗、玻璃棒、表面皿、烧杯、温度计。

（二）实验耗材

NH_4Cl（C.P）、$CoCl_2 \cdot 6H_2O$（C.P）、5%H_2O_2、浓氨水（C.P）、浓盐酸（C.P）、活性炭、乙醇（C.P）、2mol/L HCl、冰水混合液。

实验方法及步骤

1. 在锥形瓶中，将 4g NH_4Cl 溶于 8.4ml 水中，加热至沸腾，加入 6g 研细了的 $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 晶体，溶解后，加入 0.4g 提前研细的活性炭，摇动锥形瓶，使其混合均匀。

2. 用流动的水冷却后，加入 13.5ml 浓氨水，再冷却至 10℃以下，用胶头滴管逐滴加入 13.5ml 5% 的 H_2O_2 溶液，水浴加热至 40℃ ~50℃，保持 20 分钟，并不断摇动锥形瓶（在通风柜内进行）。

3. 再以冰水冷却至 0℃左右，吸滤，不必洗涤沉淀，直接把沉淀溶于 50ml 沸水中（水中含 1.7ml 浓 HCl）。

4. 趁热吸滤，慢慢加入 6.7ml 浓 HCl 于滤液中，即有大量橘红色晶体析出，用冰水冷却后，再次抽滤。

5. 晶体以冷的 2ml 2mol/L HCl 洗涤，再用少量乙醇洗涤，吸干。

6. 晶体放在蒸发皿上，水浴上干燥，称量，计算产率。

思考题

1. 要使本实验制备的产品的产率高，你认为哪些步骤是比较关键的？为什么？

2. 实验中加过氧化氢起什么作用，如不用过氧化氢还可以用哪些物质？用这些物质有什么不好？

（杨联敏）

实验十八　硫酸亚铁铵的制备

实验目的

1. 掌握　无机化合物制备中的基本操作。

2. 了解　复盐的特性，制备复盐硫酸亚铁铵；目视比色方法。

实验内容及原理

除锂外，碱金属盐类化合物，尤其是硫酸盐和卤化物都具有形成复盐的能力。复盐的类型通常有卤化物形成的光卤石类和硫酸盐形成的摩尔盐（硫酸亚铁铵）和明矾类。复盐的一个特别性质是其溶解度一般较其组分盐的溶解度要小（表 4-15）。

表 4-15　硫酸亚铁铵有关盐的溶解度（g/100g 水）

温度（℃）	10	20	30	40
$(NH_4)_2SO_4$	73.0	75.4	78.0	81.0
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	45.17	62.11	82.73	110.27
$(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$	–	41.36	–	62.26

摩尔盐硫酸亚铁铵，是浅蓝绿色单斜晶体，溶于水，不溶于醇，空气中风化，100℃~110℃时分解。一般亚铁盐在空气中易被氧化，但形成复盐硫酸亚铁铵后，亚铁就比较稳定，不易被氧化。因此，在定量分析中，硫酸亚铁铵常用来配制亚铁离子的标准溶液。

本实验从铁屑开始制备硫酸亚铁铵。实验中先将铁屑溶于稀硫酸中生成 $FeSO_4$ 溶液：

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2\uparrow$$

由于铁屑中含有其他金属和非金属杂质，生成的氢气中含有其他有气味和毒性的气体，可以用碱吸收后再排放。

将制备的 $FeSO_4$ 和等摩尔的 $(NH_4)_2SO_4$ 在溶液中混合，通过蒸发、结晶，将得到溶解度较小的硫酸亚铁铵 $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$ 复盐晶体：

$$FeSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O = (NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$$

由于硫酸亚铁铵在100℃~110℃时分解，所以蒸发只能通过水浴加热进行。

实验器材及实验准备要求

（一）主要实验仪器

天平、锥形瓶、电磁加热搅拌器、减压过滤装置、蒸发皿、比色管、烧杯。

（二）实验耗材

Na_2CO_3（5%）、KSCN（25%）、Fe^{3+} 标准溶液、H_2SO_4（2mol/L）、HCl（3mol/L）、$(NH_4)_2SO_4$ 固体、铁屑。

实验方法及步骤

1. 硫酸亚铁的制备　称取2g铁屑，放在小烧杯中，加约20ml 5%的 Na_2CO_3 溶液，小火加热几分钟以除去铁屑上的油污。用倾析法去掉碱液后，用水洗净铁屑。

往锥形瓶内加入约20ml的2mol/L稀硫酸，小火加热，在加热过程中适当补充蒸发掉的水分。待反应基本完全（产生氢气气泡很少）后，趁热减压过滤，滤液转移到蒸发皿中。

2. 硫酸亚铁铵复盐的生成　称取4g $(NH_4)_2SO_4$ 固体加到硫酸亚铁溶液中，水浴加热蒸发浓缩至表面出现晶膜为止（注意不要将溶液蒸发过头）。待溶液冷却到室温后减压过滤，即得硫酸亚铁铵晶体。晾干，称重，计算产率。产品可自己保存用于 $K_3[Fe(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$ 的制备。

3. Fe(Ⅲ)的限量分析　称取1g合成的硫酸亚铁铵晶体，加入几毫升不含氧的蒸馏水（蒸馏水煮沸几分钟后冷至室温即得）溶解，再加2ml 3mol/L HCl和1ml 25%的KSCN溶液，转入比色管中，用不含氧的蒸馏水稀释至25ml。摇匀，与标准溶液进行

目视比色，确定产品等级（表 4–16）。

表 4–16　硫酸亚铁铵产品规格与产品中 Fe^{3+} 含量

规格	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
含 Fe^{3+} 量	0.05	0.10	0.20

思考题

1. 制备硫酸亚铁时，为什么必须保持溶液呈酸性？可否用浓硫酸代替 2mol/L 稀硫酸？

2. 在配制硫酸亚铁铵溶液时为什么必须用不含氧的蒸馏水？

3. 有一硫酸亚铁铵固体混有少量的三价铁，若配制二价铁的标准溶液，怎样除去三价铁？怎样定性检查处理后的溶液中三价铁是否超标？

（秦子平）

下篇

练习与拓展

一、绪 论

【学习要点】

无机化学是医药院校相关专业的一门必修基础课，绪论能使大一新生系统地认识化学学科、激发学生对化学的热爱，并形成“大化学”的概念，为后续专业课程的学习打下坚实基础。

【基础练习题】

一、填空题

1. 无机化学研究的对象是________。
2. ________被公认为化学科学的奠基人，他提出了________的概念。
3. 英国科学家道尔顿提出了________论观点，认为原子是________。
4. 意大利科学家阿伏加德罗提出了________论观点，认为分子是由________组成。
5. 俄国科学家________在总结了元素性质的基础上，提出了________律的观点，奠定无机化学基础。
6. 生命的必需元素有________种，习惯上将含量高于________的元素称为宏量元素，含量低于________的元素称为微量元素。
7. I 是人体不可缺少的元素，它引起的缺乏症是________，F 是骨骼正常生长必需的元素，它引起的缺乏症是________。
8. 自然界存在着一系列物质和能量循环，其中________、________、______、______的循环是最重要的四大循环。
9. 治疗机体代谢性酸中毒，通常用________作为抗酸药。
10. 治疗机体代谢性碱中毒，通常用________作为抗碱药。
11. ________难溶于水，肠道无吸收，能阻止 X 线通过，常用于消化道造影。
12. ________用于配制生理盐水，大量用于出血过多，严重腹泻引起的缺水症。

二、判断题

1. 近代实验证明了原子是可分的　　（　　）
2. 科学家道尔顿提出的原子论观点认为原子是不能再分的　　（　　）
3. 同体积的任何气体含有相同的分子数　　（　　）
4. 金属 Cu 是良导体，而纳米 Cu 则不导电　　（　　）
5. 微量元素的缺量和过量不一定都会引起病变　　（　　）

三、选择题

1. 提出化学元素概念的科学家是

　A. 拉瓦锡　　B. 道尔顿　　C. 门捷列夫

D. 阿伏加德罗　　E. 诺贝尔

2. 提出“原子”论观点的科学家是

A. 门捷列夫　　B. 道尔顿　　C. 拉瓦锡

D. 阿伏加德罗　　E. 米歇尔

3. 提出“分子”论观点的科学家是

A. 拉瓦锡　　B. 道尔顿　　C. 门捷列夫

D. 阿伏加德罗　　E. 牛顿

4. 总结出元素周期律的科学家是

A. 拉瓦锡　　B. 道尔顿　　C. 门捷列夫

D. 阿伏加德罗　　E. 波义耳

5. 人体缺乏 I 元素会引起的缺乏症是

A. 贫血　　B. 冠心病　　C. 骨骼疏松

D. 甲状腺肿大　　E. 以上都不是

6. 人体缺乏 F 元素会引起的缺乏症是

A. 贫血　　B. 冠心病　　C. 骨骼疏松

D. 甲状腺肿大　　E. 软骨畸形

7. 人体摄入 I 元素过量会引起的过量症是

A. 贫血　　B. 冠心病　　C. 骨骼疏松

D. 甲状腺肿大　　E. 甲状腺变小

8. 人体缺乏 Fe 元素会引起的缺乏症是

A. 贫血　　B. 高血压　　C. 骨骼疏松

D. 甲状腺肿大　　E. 软骨畸形

9. 人体缺乏 Ca 元素会引起的缺乏症是

A. 贫血　　B. 高血压　　C. 骨骼疏松

D. 甲状腺肿大　　E. 软骨畸形

10. 纳米材料会产生典型的“小尺寸效应”，其中 1nm=

A. 10^{-9}m　　B. 10^{-10}m　　C. 10^{-11}m

D. 10^{-3}m　　E. 10^{-8}m

11. 下列说法不正确的是造成机体贫血，可能是由下列哪种元素缺乏引起的

A. 碳酸氢钠片剂可作为抗酸药

B. 碳酸钙可用于治疗儿童钙缺乏症

C. 砒霜剧毒，不能作药用

D. 氯化钠用于配制生理盐水

E. 硫酸钡可用于消化道造影

12. 造成机体贫血，可能是由下列哪种元素缺乏引起的

A. I　　B. Ca　　C. Fe

D. F　　E. Mg

四、名词解释

无机化学

（覃永余）

二、原子结构

【学习要点】

原子结构是无机化学中重要的基础理论，其具有概念高度抽象、逻辑性严密的特点，是学习中的难点。学习时会感到比较困难，为了更好掌握理论性较强的原子结构知识，在学习中除了认真学习教材的基础理论外，还应该注意锻炼严密的逻辑推论和正确的抽象思想能力，联系实际充分利用已有的知识去解决未知的问题。本章的学习，应该掌握一下知识点：

1. 原子结构　原子核、核外电子。
2. 核外电子运动规律　薛定谔波函数、四个量子数。
3. 核外电子排布规律　能量最低原理、泡利不相容原理、洪特规则。
4. 元素周期律　周期、族、周期性。

【基础练习题】

一、填空题

1. 原子是由________和________组成的，其中________带正电，________带负电。
2. 完成下列关系式：原子序数 =________=________=________。
3. 完成下列关系式：原子质量数 =________+________。
4. 同位素是指原子核内具有相同________和不同________的原子的互称。
5. 同位素的物理性质不相同，但它们的________相同。
6. 量子数 n 越________，电子离核越__________，能量越低；n 越__________，电子离核越________，能量越高。
7. 描述核外电子运动状态的四个量子数是：________、________、________、________。
8. 每个电子层中，电子亚层数目等于________。
9. s 电子云的空间构型是________，p 电子云的空间构型是________，d 电子云的空间

构型是花瓣型。

10. 副量子数 l 的取值受 n 限制，它们的关系是：$l \leq$________。

11. 磁量子数 m 的取值受 l 限制，它们的关系是：$|m| \leq$________。

12. s、p、d、f 轨道的空间伸展方向分别是________个、________个、________个、________个。

13. s、p、d、f 亚层所包含的轨道数分别是________个、________个、________个、________个。

14. 每个电子亚层所具有的轨道总数是________，每个电子层所具有的轨道数是______，每个电子层可容纳的电子数是________。

15. 第三电子层中包含的亚层分别是________、________、________。

16. 原子核外电子排布要遵循的三个规则是________、________、________。

17. 11 号元素的核外电子排布式是________。

18. 某元素的价电子排布式是：$3s^2 3p^6$，其中 2，3，p 分别表示________、________、________。

19. 电子排布式 B：$1s^2 2s^3$，违反了________原理。

20. 电子排布式 Ca：$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2$，违反了________原理。

21. 电子排布式 Cr：$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$，违反了________原理。

22. 元素性质呈周期性变化的根本原因是________。

23. 同一周期从左到右，元素的________性逐渐增强，元素的________性逐渐减弱。

24. 同一主族从上到下，元素的________性逐渐增强，元素的________性逐渐减弱。

25. 通常，元素的电负性值小于______的为金属元素，电负性值大于______为非金属元素。

26. 电负性越大，该元素原子________能力越强。

27. 元素周期表共有________个周期和________个族，其中包含 __________个主族和________个副族。

28. 元素周期表共分为四个区，分别是______区、______区、______区、______区。

29. 周期表中 s、p、d 区的价电子构型分别是________、________、________。

30. 同一周期元素从左到右，原子的________能力逐渐增强，________能力逐渐减弱。

31. 同一主族元素从上到下，原子的________能力逐渐增强，________能力逐渐减弱。

32. 价电子构型为 $3s^2 3p^5$ 元素位于周期表的________周期，________族，________区，元素名称是________。

二、选择题

1. 原子是由什么组成的

A. 质子和中子　　B. 原子核和中子　　C. 质子和核外电子

D. 原子核和核外电子　　E. 原子核和中子

2. 原子核是由什么组成的

A. 原子核和核外电子　　B. 原子和中子　　C. 质子和核外电子

D. 质子和中子　　E. 原子核和中子

3. 下列量子数正确的一组是

A. n=1，l=1，m=0　　B. n=3，l=1，m=0　　C. n=2，l=3，m=0

D. n=3，l=1，m=4　　E. n=1，l=2，m=0

4. 下列核外电子排布正确的是

A. $3s^3$　　B. $2s^2\ 2p^7$　　C. $2s^2\ 2p^6\ 2d^2$

D. $3d^5\ 4s^2$　　E. $3s^2\ 4s^2$

5. 19 号元素的价电子构型是

A. $4s^1$　　B. $3s^1$　　C. $3s^23p^63d^1$

D. $4s^23d^1$　　E. $3d^14s^2$

6. 下列哪种价电子构型所代表的元素位于周期表第三周期 s 区

A. $3s^2$　　B. $3s^23p^2$　　C. $3s2^3p^63d^2$

D. $3d^1$　　E. $4s^24p^1$

7. 第ⅡA 族元素的价电子构型为

A. $2s^1\ 2p^1$　　B. $ns^1\ np^1$　　C. ns^2

D. np^2　　E. $2s^2$

8. 下列物质酸性最强的是

A. H_2SiO_3　　B. H_3PO_4　　C. H_2SO_4

D. $HClO_4$　　E. $HAlO_3$

9. 下列物质碱性最弱的是

A. NaOH　　B. $Mg(OH)_2$　　C. $Al(OH)_3$

D. KOH　　E. $Ca(OH)_2$

10. 金属性最弱的元素是

A. Na　　B. Mg　　C. Al

D. K　　E. Ca

11. 非金属性最强的元素是

A. F　　B. Cl　　C. Br

D. N　　E. O

12. 下列电子排布式错误的是

A. $1s^1$　　B. $2s^22p^3$　　C. $3s^2$

D. $1s^22s^3$　　E. $3s^23p^3$

13. 每个电子层所包含的轨道数是

A. $2n^2$　　B. n^2　　C. 2n

D. n　　E. 2n+1

14. 元素化学性质呈周期性变化的根本原因是

A. 元素的核电荷数逐渐增多

B. 元素原子核外电子呈现周期性变化

C. 元素化合价呈现周期性变化

D. 元素的原子半径呈现周期性变化

E. 元素的金属性呈周期性变化

15. 同主族元素，自上而下

A. 电子层减少　　B. 原子半径减小　　C. 金属性增强

D. 非金属性增强　　E. 金属性减弱

三、判断题

1. 原子核外电子排布必须遵循能量最低原理　　(　　)

2. 电子排布式 $1s^22s^3$ 违反了能量最低原理　　(　　)

四、名词解释

1. 同位素

2. 原子轨道

3. 元素周期律

4. 电负性

五、推断题

某元素原子的电子最后填入 3d 轨道，其最高化合价为 +4 价，试写出其电子排布式，并指出它的名称以及在周期表的具体位置。

【拓展习题】

一、填空题

1. 4P 亚层中轨道的主量子数为________，角量子数为________，该亚层的轨道最多可以有________种空间取向，最多可容纳________个电子。

2. n=3，l=1 的原子轨道属________能级，该能级有 ________个简并轨道，半充满时，若用 4 个量子数的组合分别表示这些电子的状态，应该将它们写成________。具有这样电子组态的原子的核电荷数为________，其元素符号是________。

3. 决定原子等价轨道数目的量子数是________，决定多电子原子的原子轨道能量的量子数是________。

4. 基态原子中 3d 能级半充满的元素是________和________。1~36 号元素中，基态原子核外电子中未成对电子最多的元素是 ________。

5. 最外层电子组态为 $5s^2 5p^4$ 的元素处在元素周期表的__________区第__________周期__________族，原子序数为__________。

6. 某元素的价电子层有 2 个 n=4，l=0 的电子和 5 个 n=3，l=2 的电子，该元素的价电子组态为________，价电子层有________个未成对电子，该元素是________。

7. 周期表中最活泼的金属为________，最活泼的非金属为________。

8. 波函数 ψ 是描述__________数学函数式，它和__________是同义词，$|\psi|^2$ 的物理意义是__________，电子云是__________形象化表示。

9. 第 33 号元素原子的核外电子排布为________，在周期表中属________区元素。基态时最外层各电子的量子数为：n= ________；l=________；m=________；m_s=________。

二、选择题

1. 下列各组量子数中，合理的一组是

A. n=3，l=1，m=+1，m_s=+1/2 B. n=4，l=5，m=−1，m_s=+1/2

C. n=3，l=3，m=+1，m_s=−1/2 D. n=4，l=2，m=+3，m_s=−1/2

E. n=3，l=3，m= 0，m_s=1/2

2. 下列电子的量子数（n，l，m 和 m_s）不合理的是

A. 3，1，0，+1/2 B. 3，0，0，−1/2 C. 3，1，1，−1/2

D. 3，3，0，−1/2 E. 2，1，−1，+1/2

3. 对 3d 电子来说，下列各组量子数中不正确的是

A. 3，2，2，+1/2 B. 3，2，1，−1/2 C. 3，2，0，+1/2

D. 3，1，1，+1/2 E. 3，2，2，−1/2

4. 主量子数 n=4 能层的亚层数是

A. 2 B. 3 C. 4 D. 5 E. 6

5. 波函数一定，则原子核外电子在空间的运动状态就确定，但仍不能确定的是

A. 电子的能量 B. 电子在空间各处出现的机率密度

C. 电子距原子核的平均距离 D. 电子的运动轨迹

E. 电子的自旋方向

6. 在多电子原子中，下列电子具有如下量子数，其中能量最高的电子是

A. 2，1，0，−1/2　　B. 2，1，1，−1/2　　C. 3，1，1，+1/2

D. 3，2，−2，−1/2　　E. 4，2，1，−1/2

7. 第四周期元素原子中未成对电子数最多可达

A. 3　　B. 4　　C. 5

D. 6　　E. 7

8. Pb^{2+} 离子的价电子层结构是

A. $6s^26p^2$　　B. $5s^25p^2$　　C. $6s^2$

D. $5s^25p^65d^{10}6s^2$　　E. $6P^2$

9. Fe^{3+} 的电子组态是

A. $[Ar]3d^34s^2$　　B. $[Ar]3d^54s^0$　　C. $[Ar]3d^64s^0$

D. $[Ar]3d^54s^1$　　E. $[Ar]3d^64s^2$

10. 基态 $_{24}Cr$ 的电子组态是

A. $[Ar]\ 4s^23d^4$　　B. $[Kr]3d^44s^2$　　C. $[Xe]3d^54s^1$

D. $[Xe]3d^44s^2$　　E. $[Ar]3d^54s^1$

11. 下列离子中的价电子构型可以用 $3d^6$ 表示的是

A. Mn^{2+}　　B. Fe^{3+}　　C. Co^{3+}

D. Ni^{2+}　　E. Cu^{2+}

12. 在多电子原子中决定电子能量的量子数为

A. n　　B. l　　C. n 和 l

D. n、l 和 m　　E. n、l、m 和 m_s

13. 下列说法正确的是

A. 主量子数为 1 时，有自旋相反的两个轨道

B. 在除氢以外的原子中，2p 能级总是比 2s 能级高

C. 主量子数为 4 时，4s、4p、4d、4f 共四个轨道

D. 电子云图形中的小黑点代表电子

E. 电子云是电子出现的概率

14. 角量子数 l=2 的某一电子，其磁量子数 m

A. 只有一个数值　　B. 只有三个数值

C. 可以是三个数值中的任一个　　D. 可以是五个数值中的任一个

E. 可以有无限多少数值

15. 下列元素原子半径的排列顺序正确的是

A. Ar > Mg > Si > B　　B. Mg > B > Si > Ar

C. Si > Mg > B > Ar　　D. B > Mg > Ar > Si

E. B > Ar > Mg > Si

16. 下列元素中，原子半径最接近的一组是

A. Ne、Ar、Kr、Xe　　B. Cr、Mn、Fe、Co　　C. B、C、N、O

D. Mg、Ca、Sr、Ba　　E. Na、Mg、Al、Si

17. 已知某元素原子的价电子层结构为 $3d^5 4s^2$，则该元素在周期表中位置为

A. 第四周期第Ⅱ A 族　　B. 第四周期第Ⅱ B 族

C. 第四周期第Ⅶ A 族　　D. 第四周期第Ⅶ B 族

E. 第四周期第 Ⅷ B 族

18. 某原子的基态电子组态是 $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^1$，该元素属于

A. 第六周期，IA 族，s 区　　B. 第六周期，IB 族，p 区

C. 第六周期，IB 族，d 区　　D. 第六周期，IB 族，f 区

E. 第六周期，IB 族，ds 区

19. 在下列元素中，电负性大小顺序正确的是

A. Cl > S > AS　　B. O > S > Cl　　C. AS > P > H

D. F > N > O　　E. F > Br > Cl

20. 下列各组元素的第一电离能按递增的顺序正确的是

A. Na、Mg、Al　　B. B、C、N　　C. Si、P、As

D. He、Ne、Ar　　E. N、O、F

三、判断题

1. 波函数是指电子在核外某区周围微单位体积中电子出现的概率　(　　)

2. 原子轨道就是原子核外电子运动的轨道，这与宏观物体运动轨道的含义相同　(　　)

3. 不确定原理是指微观粒子的运动轨迹或能量是无法准确测定的　(　　)

4. 以电子概率密度表示的空间图像即为原子轨道，波函数的空间图像即为电子云　(　　)

5. 电子云是核外电子分布概率密度的空间图像　(　　)

6. 根据 Hund 规则，原子处于全充满、半充满或全空时，整个原子处于能量较低状态　(　　)

7. 4f 能级对应的量子数为 n=4，l=3　(　　)

8. 最外层电子组态为 ns^1 或 ns^2 的元素，都在 s 区　(　　)

9. 若原子中某一电子处于 n=4、l=2、m=1 的运动状态，则该电子是 4p 电子　(　　)

10. 当主量子数 n=3 时，有 3s、3p 和 3d 三个原子轨道　(　　)

11. 2s 电子在球形轨道上运动，而 2p 电子在哑铃形轨道上运动　(　　)

12. 非金属元素的电负性均大于 2　(　　)

13. p 区和 d 区元素多有可变的氧化数，s 区元素（H 除外）没有　(　　)

四、问答题

1. 下列各组量子数哪些是不合理的，为什么？

（1）$n=2, l=1, m=0$　　（2）$n=2, l=2, m=-1$

（3）$n=3, l=0, m=0$　　（4）$n=3, l=1, m=1$

（5）$n=2, l=0, m=-1$　　（6）$n=2, l=3, m=2$

2. 根据原子轨道近似能级图，指出下表中各电子层中的电子数有无错误，并说明理由。

元素	K	L	M	N	O	P
19	2	8	9			
22	2	10	8	2		
30	2	8	18	2		
33	2	8	20	3		
60	2	8	18	18	12	2

3. 已知 M^{2+} 离子 3d 轨道中有 5 个电子，试推出：

（1）M 原子的核外电子排布。

（2）M 原子的最外层和最高能级组中电子数。

（3）M 元素在周期表中的位置。

4. 若将以下基态原子的电子排布写成下列形式，各违背了什么原理？并改正之。

（1）$_{6}C$　$1s^2 2s^3 2p^1$

（2）$_{13}Al$　$1s^2 2s^2 2p^3 3s^2 3p^4$

（3）$_{15}P$　$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^2 3p_y^1$

5. 有 A、B、C、D 四种元素，已知 A、B、C 均为第四周期元素，B 和 C 均具有最高的氧化值 +7，B 为 d 区元素；A 与 D 可形成 1∶1 和 1∶2 原子个数比的化合物；D 的电负性仅次于氟元素。根据上述条件，给出 A、B、C、D 四种元素的符号，并按电负性由大到小排列。

（石灵高）

三、分子结构

【学习要点】

《化学课程标准》强调“认识物质的微观性，知道分子、原子、离子等都是构成物质的粒子，并用粒子的观点解释某些常见的现象”，是学习物质结构知识基础理论

要求重点掌握的内容。这部分知识难学、难理解，只要能掌握分子结构学习的方法，就不难攻破这个难关。可以通过化抽象为实验探究，如 1 体积大豆和 1 体积小米混合的小实验，对比宏观颗粒来理解微观粒子，逐步由直观形象形成抽象的理论概念。同时还可以化微观为图形示意，由于微观世界用肉眼难以看见，在学习时可通过粒子模型、图形来形象地理解分子和原子的结构，往往会收到意想不到的效果。本章知识点如下：

1. 化学键　金属键、离子键、共价键。

2. 价键理论　现代价键理论、杂化轨道理论。

3. 分子间力　取向力、诱导力、色散力、氢键。

【基础练习题】

一、填空题

1. 化学键分为________、________、________。
2. 离子键的特性是________、________。
3. 当活泼金属元素与活泼非金属元素相互作用时通常形成________键。
4. 阴阳离子通过静电作用形成的化学键称________。
5. 离子键形成的首要条件是成键原子间的________差值要大，一般要相差________以上。
6. 当分子中两原子的电负性相近或相同时通常形成________键。
7. 原子间通过共用电子对所形成的化学键称________。
8. 原子间通过电子云重叠对所形成的化学键称________。
9. 共价键的特性是________、________。
10. 根据共用电子对是否偏移，把共价键分为________、________。
11. 共价键的极性与成键原子的________差值有关，差值越大，极性越大。
12. 金属键的特性是________、________。
13. 根据原子轨道重叠的方式不同，共价键一般分为________键、________键。
14. 原子轨道以“头碰头”方式重叠形成的共价键称为________。
15. 原子轨道以“肩并肩”方式重叠形成的共价键称为________。
16. 共价键的________越大，表明键越牢固，该分子就越________。
17. 同一原子的一个 ns 轨道和一个 np 个轨道之间进行的杂化过程叫作________杂化。其空间构型是________。
18. 同一原子的一个 ns 轨道和二个 np 个轨道之间进行的杂化过程叫作________杂化。其空间构型是________。
19. 同一原子的一个 ns 轨道和三个 np 个轨道之间进行的杂化过程叫作________杂化。其空间构型是________。
20. 按分子间作用力产生的原因和特点不同，将其分为________、________、________。

21. 在非极性分子之间只有________。

22. 在极性分子与非极性分子之间存在________、________。

23. 在极性分子与极性分子之间存在________、________、________。

二、选择题

1. 不属于化学键的是

A. 离子键　　B. 共价键　　C. 配位键

D. 氢键　　E. 金属键

2. 下列说法错误的是

A. 离子键无饱和性　　B. 离子键无方向性

C. 离子键通常在活泼金属与活泼非金属间形成

D. 离子键有饱和性和方向性　　E. 离子化合物易溶于水

3. 下列分子中存在配位键的是

A. NaCl　　B. H_2O　　C. NH_4Cl

D. HCl　　E. H_2

4. 下列离子半径排列顺序错误的是

A. $Na^+>Mg^{2+}>Al^{3+}$　　B. $Na^+<Mg^{2+}<Al^{3+}$　　C. $Fe^{2+}>Fe^{3+}$

D. $Fe>Fe^{3+}$　　E. $F^-<Cl^-<Br^-<I^-$

5. 配位键是

A. 一种特殊的共价键　　B. 不属于共价键　　C. 在任意两原子间形成

D. 无方向性　　E. 无饱和性

6. 共价键

A. 是一种特殊的配位键

B. 通常在电负性相近的原子间形成

C. 在活泼金属与活泼非金属间形成

D. 金属离子与金属原子间形成

E. 无饱和性和方向性

7. 下列叙述不正确的是

A. π 键依赖于 σ 键存在　　B. σ 键依赖于 π 键存在　　C. σ 键比 π 键稳定

D. σ 键可以单独存在　　E. π 键易断裂

8. 下列说法不正确的是

A. 共价键有饱和性和方向性　　B. 共价键可分为 σ 键、π 键

C. 共价键可分为极性键、非极性键　　D. 共价键无饱和性和方向性

E. 电子云重叠越大，共价键越稳定

9. 下列分子形成中采用 sp^3 杂化的是

A. $BeCl_2$　　B. BF_3　　C. CH_4

D. H_2　　E. HF

10. 下列分子属非极性分子的是

A. HCl　　B. H_2　　C. H_2O

D. NH_3　　E. SO_2

11. 下列分子属极性分子的是

A. N_2　　B. H_2　　C. CO_2

D. NH_3　　E. CS_2

12. 下列说法正确的是

A. 非极性键形成非极性分子　　B. 极性键形成极性分子

C. 非极性分子中一定有非极性键　　D. 极性键不能形成非极性分子

E. 分子极性与化学键极性一致

13. sp^2 杂化轨道的空间构型是

A. 直线型　　B. 四面体型　　C. 平面三角型

D. 平行四边型　　E. 梅花型

14. 不能形成氢键的物质是

A. NH_3　　B. CH_4　　C. H_2O

D. HF　　E. 蛋白质

15. 氢键的特点不包括

A. 属静电作用力　　B. 属于化学键　　C. 比化学键弱

D. 比分子间作用力强　　E. 有方向性和饱和性

16. 在非极性分子之间存在

A. 色散力　　B. 诱导力和诱导力　　C. 取向力

D. 亲和力　　E. 色散力和取向力

17. 在极性分子与非极性分子之间存在

A. 色散力和诱导力　　B. 诱导力　　C. 取向力

D. 亲和力　　E. 色散力和取向力

18. 在极性分子与极性分子之间不存在

A. 色散力　　B. 诱导力　　C. 取向力

D. 亲和力　　E. 色散力和取向力

三、判断题

1. 共价键有方向性和饱和性　　(　　)

2. 配位键是一种特殊的离子键　（　　）

3. 电子云重叠越大，共价键越稳定　（　　）

4. sp^2 杂化轨道是指 1s 轨道与 2p 轨道混合而成的轨道　（　　）

5. 由极性键形成的分子一定是极性分子　（　　）

四、名词解释

1. 化学键

2. 离子键

3. 共价键

【拓展习题】

一、填空题

1. 元素氧的核外电子排布式为________，H_2O 分子中 O 原子采用________杂化类型，H_2O 分子的空间构型为________，H_2O 分子之间的作用力有________、________、________、氢键。因为 H_2O 分子为________分子且 O 原子电负性________，原子半径______，所以 H_2O 分子间易形成氢键，使 H_2O 的熔点比同族氢化物的熔点________。

2. 晶体的特性是________，________，________。

3. 根据晶格结点上微粒的种类组成及其粒子间相互作用力的不同，晶体可分为______、________、________和________等四种基本类型。

4. 离子晶体晶格结点上交替排列着________、________，微粒间的结合力是________。

5. 下列物质熔点由高到低的排列顺序为____。

（1）SiC　（2）SiF_4　（3）$SiCl_4$　（4）$SiBr_4$

6. NH_4^+ 中的中心原子采取了________杂化；$BeCl_2$ 分子中的中心原子采取了______杂化。

7. H_2O、HCl、N_2、HBr 和 CO 分子的极性大小顺序为________________。

8. CsCl 型晶体的配位数等于________，NaCl 型晶体的配位数等于______________。

9. HgS 的颜色比 ZnS 的________，因为________。

10. 在共价化合物中，键的极性大小与______的差值有关，分子极性的大小可由______的大小来量度。

二、选择题

1. 下列分子间存在氢键的是

A. HCl　B. CH_3OH　C. C_2H_6　D. H_2S

2. 下列物质中熔点最高的是

A. $FeCl_2$　B. NaCl　C. $FeCl_3$　D. $SiCl_4$

3. 石墨晶体中层与层之间的结合力是

A. 金属键　B. 共价键　C. 范德华力　D. 离子键

4. NH_3 和水之间的作用力包括以下哪些力

①取向力，②诱导力，③色散力，④氢键

A. ①　　B. ④　　C. ①④　　D. ①②③④

5. 下列作用力中有饱和性和方向性的是

A. 金属键　　B. 离子键　　C. 共价键　　D. 氢键

6. 下列物质中键的极性最大的是

A. BCl_3　　B. $BeCl_2$　　C. LiCl　　D. HCl

7. 下列各物质分子间只存在色散力的是

A. H_3BO_3　　B. $CHCl_3$　　C. $HgCl_2$　　D. C（石墨）

8. 下列各分子中，中心原子在成键时以 sp^3 不等性杂化的是

A. PH_3　　B. $BeCl_2$　　C. SF_6　　D. BF_3

9. H_2、O_2、N_2 等气体在低温下会被液化甚至固化，靠的就是什么作用。

A. 色散力　　B. 取向力　　C. 诱导力　　D. 氢键

10. N_2、O_2、F_2 分子，三者的键长顺序应为

A. $F_2>O_2>N_2$　　B. $N_2>O_2>F_2$

C. $O_2>N_2>F_2$　　D. $N_2=O_2=F_2$

11. 下列分子中具有顺磁性的是

A. O_2　　C. F_2　　B. N_2　　D. CO

12. 按离子极化理论，以下离子中，变形性最大的是

A. Cl^-　　B. O^{2-}　　C. Ag^+　　D. S^{2-}

13. PCl_5 分子中，P 采取的杂化轨道是

A. sp^2　　B. sp^3　　C. sp^3d　　D. sp^3d^2

14. 下列化合物中没有氢键的是

A. C_2H_4　　B. N_2H_4　　C. HF　　D. CH_3CHO

15. H_2O、H_2S、BF_3 三种分子的极性大小顺序为

A. $H_2O > H_2S > BF_3$　　B. $H_2S > H_2O > BF_3$

C. $BF_3 > H_2O > H_2S$　　D. $BF_3 > H_2S > H_2O$

16. 下列分子中，键和分子均具有极性的是

A. Cl_2　　B. BF_3　　C. CO_2　　D. NH_3

17. 既存在离子键和共价键，又存在配位键的化合物是

A. H_3PO_4　　B. $Ba(NO_3)_2$　　C. NH_4F　　D. NaOH

18. 下列原子轨道沿 x 键轴重叠时，能形成 σ 键的是

A. $px-px$　　B. p_y-p_y　　C. p_x-p_z　　D. $s-d_z{}^2$

19. 下列原子轨道沿 x 键轴重叠时，能形成 π 键的是

A. p_x-p_x　　B. p_y-p_z　　C. p_y-p_y　　D. p_x-p_y

20. CaF_2、$BaCl_2$、$CaCl_2$、MgO 四种晶体的熔点由高到低的排列顺序为

A. MgO > CaF_2 > $BaCl_2$ > $CaCl_2$　　B. MgO > CaF_2 > $CaCl_2$ > $BaCl_2$

C. CaF_2 > MgO > $BaCl_2$ > $CaCl_2$　　D. CaF_2 > MgO > $CaCl_2$ > $BaCl_2$

三、判断题

1. 共价单键一般是 σ 键，而共价双键一定有一个 π 键　（　　）
2. 由 1s 轨道和 3p 轨道杂化成 sp^3 杂化轨道　（　　）
3. 采用杂化类型相同的中心离子，其分子构型一定相同　（　　）
4. BF_3 分子中，B 原子采取 sp^3 杂化　（　　）
5. 凡是中心原子采用 sp^3 杂化轨道成键的分子，其分子的空间构型必定是四面体　（　　）
6. BF_3 和 NH_3 都是非极性分子　（　　）
7. 因为 PH_3 的分子量比 NH_3 大，所以 PH_3 的熔点比 NH_3 高　（　　）
8. 非极性分子内的化学键都是非极性键　（　　）
9. 由极性键构成的分子一定是极性分子　（　　）
10. 诱导力只存在于非极性分子和极性分子之间　（　　）
11. 色散力仅存在于非极性分子之间　（　　）
12. 物质分子量越大，色散力越大，物质的熔沸点越高　（　　）
13. 沸点高低顺序为：$H_2O>H_2S<H_2Se<H_2Te$，说明水的沸点反常，这是因为水中氢键的影响　（　　）
14. 分子晶体熔沸点的高低，决定于分子内部共价键的强弱　（　　）
15. 在 SiO_2 晶体中，不存在独立的 SiO_2 分子　（　　）

四、问答题

1. 指出下列各分子中各个 C 原子所采用的杂化轨道。

CH_4、C_2H_2、C_2H_4、H_3COH、CH_2O

2. 原子轨道重叠形成共价键必须满足哪些原则？ σ 键和 π 键有何区别？
3. 用不等性杂化轨道理论解释 PCl_3、H_2O 分子的成键情况和空间构型。
4. 以汞的卤化物 HgX_2 为例说明离子的相互极化作用对物质颜色、水溶性、热稳定性的影响。
5. 判断下列分子的极性：SO_2、CH_2Cl_2、PCl_3、CO_2、$BrCl_3$、BF_3
6. 下列说法正确与否？举例说明其原因。

（1）非极性分子只含非极性共价键。

（2）极性分子只含极性共价键。

（3）离子型化合物中不可能含有共价键。

（4）色散力只存在于非极性分子之间。

（5）阴离子的变形性越大，其形成的化合物在水中的溶解度越小。

（6）共价型的氢化物间可以形成氢键。

（石灵高）

四、溶 液

【学习要点】

很多化学反应都是在溶液中进行，而化学是建立在实验基础之上的科学，掌握好溶液的特征，结合实验掌握在溶液中不同类型反应的化学反应式、各个量之间的计算是学习的重点。本章主要知识点：

1. 浓度的表示法　溶液的组成标度、稀释定律。
2. 稀溶液的依数性　蒸汽压下降、沸点升高、凝固点下降、溶液渗透压。
3. 溶液配置　浓度计算、单位换算。

【基础练习题】

一、填空题

1. 根据分散相粒子的大小，可将分散系分为________、________和________三类。
2. 溶液稀释时应遵循的原则是________。
3. 难挥发性非电解质稀溶液的四个依数性分别是：________、________、________、________。
4. 渗透现象产生的条件是________、________。
5. 临床上规定，凡渗透浓度在________mmol/L 范围内的溶液称等渗溶液。
6. 溶液的渗透方向总是________。
7. 在临床治疗中，为患者大量补液时，遵循的原则是使用________溶液，才能保持细胞正常功能。
8. 将红细胞置于 5g/L NaCl 溶液中，会出现________现象，将红细胞置于 15g/L NaCl 溶液中，会出现________，将红细胞置于________NaCl 溶液中，红细胞才能保持正常形态，维持正常生理功能。
9. 根据分散相颗粒直径 d 的大小，可将分散系分为三类：d<1nm 属于________，1nm<d<100nm 属于________，d>100nm 属于________。
10. 粗分散系的特征是：________透过滤纸，________透过半透膜。
11. 分子或离子分散系的特征是：________透过滤纸，________透过半透膜。

12. 胶体分散系的特征是：________透过滤纸，________透过半透膜。
13. 临床上常用的等渗溶液有：________、________和________。
14. 通常把小分子物质产生的渗透压称为________渗透压，通常把高分子化合物产生的渗透压称为________渗透压。
15. 医学上常用的溶液浓度表示法有 6 种，其名称和表示符号分别是：___________、_________、________、________、________、________。
16. 生理盐水的浓度是________，消毒酒精的浓度是________。

二、选择题

1. 生理盐水属于

A. 真溶液　B. 溶胶　C. 悬浊液
D. 乳状液　E. 高分子溶液

2. 蛋白质属于

A. 真溶液　B. 溶胶　C. 悬浊液
D. 乳状液　E. 高分子溶液

3. 胶体分散系的主要特征是

A. 粒子能透过滤纸，不能透过半透膜　B. 粒子能透过滤纸，能透过半透膜
C. 粒子不能透过滤纸，不能透过半透膜　D. 粒子不能透过滤纸，能透过半透膜
E. 以上都不正确

4. 粗分散系的主要特征是

A. 粒子能透过滤纸，不能透过半透膜　B. 粒子能透过滤纸，能透过半透膜
C. 粒子不能透过滤纸，不能透过半透膜　D. 粒子不能透过滤纸，能透过半透膜
E. 以上都不正确

5. 离子或分子分散系的主要特征是

A. 粒子能透过滤纸，不能透过半透膜　B. 粒子能透过滤纸，能透过半透膜
C. 粒子不能透过滤纸，不能透过半透膜　D. 粒子不能透过滤纸，能透过半透膜
E. 以上都不正确

6. 下列说法不正确的是

A. 蔗糖溶液属于离子或分子分散系　B. 生理盐水属于离子或分子分散系
C. 蛋白质属于胶体分散系　D. 牛奶属于粗分散系
E. 泥浆水属于粗分散系

7. 下列说法不正确的是

A. 牛奶属于非均匀体系　B. 溶胶属于非均匀体系
C. 蛋白质属于非均匀体系　D 生理盐水属于均匀体系

E. 泥浆水属于非均匀体系

8. 下列说法不正确的是

A. 稀溶液蒸气压下降是依数性之一
B. 稀溶液凝固点下降是依数性之一
C. 稀溶液沸点上升是依数性之一
D. 稀溶液颜色、体积改变是依数性之一
E. 稀溶液产生渗透压是依数性之一

9. 下列溶液用半透膜隔开，渗透方向从左到右的是

A. 0.2mol/L 蔗糖与 0.2mol/L KCl
B. 0.2mol/L 蔗糖与 0.2mol/L 葡萄糖
C. 0.3mol/L KCl 与 0.2mol/L Na_2CO_3
D. 50g/L 葡萄糖与 50g/L 蔗糖
E. 100mol/L（Cos）KNO_3 与 100mol/L（Cos）$MgCl_2$

10. 测得 100ml 某溶液中含有 8mg Ca^{2+}，则溶液的浓度是

A. 02mol/L
B. 0.2mmol/L
C. 2mmol/L
D. 2mol/L
E. 20mol/L

11. 配制 300ml 0.10mol/L NaOH 溶液，需要称固体 NaOH 的质量是

A. 1.2g
B. 4.0g
C. 1.2mg
D. 4.0mg
E. 12g

12. 泥浆水属于

A. 真溶液
B. 溶胶
C. 悬浊液
D. 乳状液
E. 固体溶液

13. 某 NaOH 溶液 500ml 中含有 20g，该溶液的物质的量浓度是

A. 0.1mol/L
B. 1.0mol/L
C. 0.1mmol/L
D. 1.0mmol/L
E. 10mol/L

14. 用固体 $CaCl_2$ 22.2g 配成溶液 2L，此溶液的物质的量浓度是

A. 0.1mol/L
B. 1.0mol/L
C. 0.1mmol/L
D. 1.0mmol/L
E. 10mol/L

15. 100ml 生理盐水中含有 NaCl 的质量是

A. 9g
B. 9mg
C. 0.9g
D. 0.9mg
E. 0.09g

16. 400ml 消毒酒精溶液，含酒精多少毫升

A. 75
B. 100
C. 300
D. 25
E. 280

17. 配制消毒酒精 1000ml，需要无水酒精

A. 75ml
B. 7.5ml
C. 750ml
D. 700ml
E. 70ml

18. 下列属于等渗溶液的是

A. 0.1mol/L $MgSO_4$ 和 0.1mol/L $CaCl_2$

B. 2mol/L NaCl 和 4mol/L 葡萄糖

C. 0.2mol/L 蔗糖和 0.1mol/L 果糖

D. 50g/L 葡萄糖和 50g/L 蔗糖加 H_2O

E. 稀溶液与纯水

19. 如将 0.1mol/L NaCl 和 0.2mol/L 蔗糖溶液用半透膜隔开，水的渗透方向是

A. 向左　B. 向右　C. 相互平衡

D. 静止不动　E. 均不正确

20. 红细胞在下列溶液中出现溶血现象的是

A. 12.5g/L $NaHCO_3$　B. 50g/L 葡萄糖　C. 0.9g/L NaCl

D. 9g/L NaCl　E. 19g/L NaCl

21. 红细胞在下列溶液中出现皱缩现象的是

A. 100g/L 葡萄糖　B. 0.90g/L NaCl　C. 12.5g/L $NaHCO_3$

D. 9.0g/L NaCl　E. 50g/L 葡萄糖

22. 下列 NaCl 溶液，与血浆是等渗溶液的是

A. 0.9g/L　B. 9g/L　C. 50g/L

D. 100g/L　E. 12.5g/L

23. 下列溶液中渗透压最大的是

A. $c(NaCl) = 0.2mol/L$　B. $c(C_6H_{12}O_6) = 0.2mol/L$　C. $c(CaCl_2) = 0.2mol/L$

D. $c(KNO_3) = 0.2mol/L$　E. 矿泉水

24. 红细胞在下列哪种溶液中不会出现溶血现象是

A. 蒸馏水　B. 矿泉水　C. 纯净水

D. 生理盐水　E. 去离子水

25. 下列说法错误的是

A. 50g/L NaCl 和 9g/L 葡萄糖是等渗溶液

B. 红细胞在 0.9g/L NaCl 溶液会发生溶血现象

C. 红细胞在 19g/L NaCl 溶液会发生皱缩现象

D. 红细胞在 9g/L NaCl 溶液中能保持正常形态

E. 红细胞在 50g/L 葡萄糖溶液中能保持正常形态

26. 将下列物质渗透压的从大到小排列正确的是：①纯 H_2O，② 0.2mol/L Na_3PO_4，③ 0.6mol/L 葡萄糖，④ 0.3mol/L Na_2SO_4

A. ①②③④　B. ④③②①　C. ③②④①

D. ④②③①　　　　E. ①③④②

三、判断题

1. 临床上为患者大量补液时应使用等渗溶液（　　）
2. 临床上规定，渗透浓度为 280~320mmol/L 的溶液为等渗溶液（　　）
3. 稀溶液渗透压的大小与溶液的浓度有关，而与溶质的本性无关（　　）
4. 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降与溶液的 bB 成正比，与溶质本性无关（　　）

四、简答与计算

1. 临床上给大量补液时，为什么要使用等渗溶液，请以红细胞为例说明原因。
2. 日常生活中，咸菜久置不变质，请用所学化学知识加以分析。
3. 临床上需 1/6mol/L 乳酸钠（$NaC_3H_5O_3$）溶液 600ml，如用 112g/L 乳酸钠针剂 （20 毫升 / 支）配制，需要此针剂几支？
4. 现要用 55% 和 95% 的酒精混合配制 2000ml 消毒酒精，问 55% 和 95% 的酒精各取用多少毫升？

（马冬冬）

五、胶体溶液

【学习要点】

本章节知识框架明晰，与医学关联度较高，容易提高激发学习的兴趣。但理论性较强，教学过程中对个别难以理解又与今后专业课的学习关联不是很大的知识点不要一味追求为什么，只要知道是什么就行了。

切记：要培养学生自学、观察、比较、分析、归纳、综合、表达、思维、理解的能力，学习掌握起来不会很难。本章主要知识点：

1. 掌握　胶体的性质及其成因。
2. 了解　分散系的分类。

【基础练习题】

一、填空题

1. 胶体分散系分散相颗粒直径大小在________范围内，它包括________和______两类。
2. 胶粒带电的主要原因是________。
3. 使胶体聚沉的方法有________、________、________。
4. 表面张力产生的原因是由于表面层的分子与处于内部的分子________不一样。
5. 表面张力越大，表面积越大，表面能越________，体系越________。
6. 一切界面上所发生的现象统称为________。

7. 表面活性物质加入到液体中使液体的表面张力________，这是由于表面活性分子在表面层________所致。

8. 凡是能使溶液的表面张力显著降低，产生正吸附的物质称________。

9. 溶胶较稳定的三个原因是________、________和________。

10. 溶胶稳定的主要原因是________，而高分子化合物溶液稳定的主要原因是________。

二、选择题

1. 下列溶胶，在电场作用下胶粒移向阴极的是

A. 硅酸溶胶　B. 硫化砷溶胶　C. $Fe(OH)_3$ 溶胶

D. 含过量 I^- 的 AgI 溶胶　E. 含过量 Cl^- 的 AgCl 溶胶

2. 用半透膜分离胶体粒子与电解质溶液的方法称为

A. 电泳　B. 过滤　C. 胶溶

D. 透析　E. 沉降

3. 人体的皮肤、肌肉属于哪种分散系

A. 粗分散系　B. 胶体分散系　C. 真溶液

D. 乳浊液　E. 悬浊液

4. 人体的毛发、指甲属于哪种分散系

A. 粗分散系　B. 胶体分散系　C. 真溶液

D. 乳浊液　E. 悬浊液

5. 丁铎尔现象是由于胶体粒子对光的________而形成的

A. 透射　B. 反射　C. 折射

D. 散射　E. 以上都不正确

6. 胶粒带电的原因可能是

A. 布朗运动　B. 选择性吸附　C. 扩散

D. 丁铎尔现象　E. 沉降

7. 胶粒稳定的主要原因是

A. 布朗运动　B. 胶粒带电　C. 溶剂化膜

D. 丁铎尔现象　E. 沉降

8. 胶体溶液区别于大分子溶液的实验事实是

A. 胶粒能通过滤纸　B. 电泳现象　C. 布朗运动

D. 丁铎尔现象　E. 透析

9. 高分子化合物溶液稳定的主要原因是

A. 布朗运动　B. 胶粒带电　C. 溶剂化膜

D. 丁铎尔现象　E. 沉降

10. 等体积 0.08mol/L KI 溶液和 0.1mol/L $AgNO_3$ 溶液混合所得的 AgI 溶胶，下列电解质对其聚沉能力最小的是

A. Na_3PO_4　　B. $BaCl_2$　　C. Na_2SO_4

D. $MgSO_4$　　E. Na_2CO_3

三、判断题

1. 丁铎尔现象是光的反射现象引起的　（　　）
2. 凡是能显著降低溶液表面张力的物质称表面活性剂　（　　）
3. 物质的表面积越大，表面能越高，体系越稳定　（　　）
4. 固体表面积越大，该吸附剂的吸附能力越小　（　　）

四、简答与计算

为什么溶胶对电解质敏感，加入少量电解质就发生沉淀，而蛋白质溶液则需加入大量的盐才会沉淀?

【拓展习题】

一、填空题

1. 1mol H，1mol H_2CO_3，1mol $\frac{1}{2}H_2SO_4$ 所表示的基本单元分别是__________、__________、__________。

2. 丁达尔效应能够证明溶胶具有________性质，其动力学性质可以由________实验证明，电泳和电渗实验证明溶胶具有________性质。

3. 将等体积的 0.003mol/L $AgNO_3$ 溶液和 0.008mol/L KCl 溶液混合所得的 AgCl 溶胶的胶团结构式为______________，该溶胶在电场中向________极移动。

二、选择题

1. 等压下加热 5% 的下列水溶液，最先沸腾的是

A. 尿素 [$(NH_2)_2CO$] 溶液　　B. 葡萄糖（$C_6H_{12}O_6$）溶液

C. 丙三醇（$C_3H_8O_3$）溶液　　D. 蔗糖（$C_{12}H_{22}O_{11}$）溶液

2. 0.1mol/kg 下列水溶液中凝固点最低的是

A. NaCl 溶液　　B. $C_{12}H_{22}O_{11}$ 溶液　　C. HAc 溶液　　D. H_2SO_4 溶液

3. 胶体溶液中，决定溶胶电性的物质是

A. 胶团　　B. 电位离子　　C. 胶粒　　D. 反离子

4. 溶胶具有聚结不稳定性，但经纯化后的 $Fe(OH)_3$ 溶胶可以存放数年而不聚沉，其原因是

A. 胶体的布朗运动　　B. 胶体的丁达尔效应

C. 胶团有溶剂化膜　　D. 胶粒带电和胶团有溶剂化膜

5. 有浓度同为 0.01mol/L 的电解质① $NaNO_3$，② Na_2SO_4，③ Na_3PO_4，④ $MgCl_2$，它们对 $Fe(OH)_3$ 溶胶的聚沉能力大小顺序为

A. ①②③④　　B. ③②④①　　C. ③②①④　　D. ②④③①

三、简答题

1. 对稀溶液依数性进行计算的公式是否适用于电解质稀溶液和易挥发溶质的稀溶液？为什么？
2. 若渗透现象停止了，是否意味着半透膜两端溶液的浓度也相等了？
3. 解释如下现象：

（1）不慎发生重金属离子中毒，为什么服用大量牛奶可以减轻病状？

（2）肉食品加工厂排出的含血浆蛋白的污水，为什么加入高分子絮凝剂可起净化作用？

四、计算题

1. 10.00ml 饱和 NaCl 溶液质量为 12.003g，将其蒸干后得到 NaCl 3.173g，求：

（1）NaCl 的质量分数。

（2）NaCl 的质量摩尔浓度。

（3）NaCl 的物质的量浓度。

（4）各组分的摩尔分数。

2. 今有两种溶液，其一为 1.50g 尿素 $(NH_2)_2CO$ 溶于 200g 水中；另一为 42.8g 未知物溶于 1000g 水中，这两种溶液在同一温度开始沸腾，计算这种未知物的摩尔质量。
3. 人体血浆的凝固点为 272.59K，计算在正常体温（36.5℃）下血浆的渗透压。
4. 硫化砷溶胶是由下列反应而制得的 $2H_3AsO_3 + 3H_2S = As_2S_3 + 6H_2O$ 试写出硫化砷胶体的胶团结构式（电位离子为 HS^-）。并比较 NaCl、$MgCl_2$、$AlCl_3$ 三种电解质对该溶胶的聚沉能力，并说明原因。

（秦子平）

六、化学反应速率和化学平衡

【学习要点】

本章通过学习化学平衡建立的过程，掌握化学平衡常数的含义，学会利用化学平衡常数计算反应物的转化率。通过实验定量测定化学反应中各个物质浓度的变化，总结归纳化学反应速率的表示方法。通过探究温度、浓度、压强和催化剂对化学反应速率的影响，认识其一般规律。还应当掌握活化能的含义，能用焓变和熵变说明化学反应的方向。本章知识点：

1. 化学反应速率　基元反应、速率方程、反应速率理论。

2. 化学平衡　勒夏特列原理。

3. 化学平衡常数　可逆反应、标准平衡常数。

【基础练习题】

一、填空题

1. 化学反应速率通常用单位时间内________减少或________增加来表示。
2. 有效碰撞次数越多，反应速率就越________。
3. 活化能是指________平均能量与________平均能量之差。
4. 影响化学反应速度大小的决定性因素是________。影响化学反应速度的主要外界因素有________、________、________、________。
5. 可逆反应的特点是________，可逆反应达到平衡的特点可概括为四个字，即________、________、________、________。
6. 影响化学平衡的因素有________、________和________。
7. 催化剂可加快反应速度，但不能使________。
8. 催化剂能加快反应速度的原因是________。
9. 温度之所以加快反应速率，一方面是由于________，更主要的原因是________。
10. 质量作用定律是指在一定温度下基元反应的化学反应速率与________成正比。

二、选择题

1. 对于反应 A（s）+ B（l）= C（s）+ D（l）－ Q，影响其反应速度的因素不包括

A. 升高体系温度　B. 增大 A 浓度　C. 增大体系压强

D. 降低 D 浓度　E. 加入催化剂

2. 催化剂加快反应速度的原因是

A. 等同于升高温度　B. 改变反应物浓度

C. 改变反应历程，降低反应活化能　D. 加快达到平衡时间

E. 改变反应历程，升高反应活化能

3. 对于化学反应 $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$，下列说法正确的是

A. 速率的比值一定是：$v_{N_2} : v_{H_2} : v_{NH_3} = 1 : 3 : 2$

B. 无法用反应中的物质来表示反应速度

C. 反应物速率比值无法确定

D. 反应速度只能用 N_2、H_2 来表示

E. 以上都不正确

4. 对于某一反应的速率方程 $v = k \cdot c_{An} \cdot c_{Bm}$，下列说法正确的是

A. k 是特征常数，与反应物本性有关　B. k 随浓度而改变

C. k 与温度无关　D. k 与催化剂无关

E. k 值是可改的

5. 对于一定条件下的任意可逆反应，有关反应已达到平衡状态的说法正确的是

A. 反应静止不动　　B. 正逆反应速度相等

C. 反应物与生成物浓度相等　　D. 正逆反应速度相等，且为 0

E. 反应已经进行到底

6. 对于一定条件下的可逆反应：$N_2+3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ 能说明反应已达到平衡状态的是

A. N_2 和 H_2 的浓度等于 NH_3 的浓度　B. N_2 和 H_2 的浓度相等

C. $V_{正}=V_{逆}=0$　　D. N_2、H_2、NH_3 的浓度不再改变

E. 反应静止不动

7. 可逆反应 $CO+O_2 \rightleftharpoons 2CO_2+Q$ 达到平衡时，若升高温度，正确的是

A. 正反应减慢，逆反应加快　　B. 正反应加快，逆反应减慢

C. 正逆反应都减慢　　D. 正逆反应都加快

E. 对平衡无影响

8. 影响化学平衡移动的因素不包括

A. 温度　　B. 催化剂　　C. 压强

D. 浓度　　E. 以上都正确

9. 下列可逆反应达成平衡后，若同时加大压强和降低温度，平衡向右移动的是

A. $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)+Q$

B. $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)+O_2-Q$

C. $2C(s)+O_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)+Q$

D. $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s)+CO_2(g)+Q$

E. $2CO_2(g) \rightleftharpoons CO(g)+O_2(g)-Q$

10. 可逆反应 $2CO_2 \rightleftharpoons CO+O_2-Q$ 达到平衡时，若降低温度，正确的是

A. 正反应减慢，逆反应加快　　B. 正反应加快，逆反应减慢

C. 正逆反应都减慢　　D. 正逆反应都加快

E. 对平衡无影响

11. 对于一定条件下的可逆反应：$N_2+3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ 加入催化剂的目的是

A. 使平衡向左移动　　B. 使平衡向右移动　　C. 加快正反应速率

D. 加快逆反应速率　　E. 缩短达到平衡的时间

12. 在 $mA+nB \rightleftharpoons pC+qD+Q$ 的反应中 A、B、C、D 均为气体，且 $m+n=p+q$，在平衡时，改变条件能使平衡向右移动的是

A. 加压、升温　　B. 降压、升温　　C. 增大 A 浓度、降温

D. 增大 C 浓度、降压　　E. 减少 C 浓度、升温

13. 可逆反应 $mA(s)+nB(g) \rightleftharpoons pC(g)+qD(g)+Q$ 到达平衡后，增大体系压强，平衡右移，下列关系一定成立的是

A. $n>p+q$ B. $n<p+q$ C. $m+n>p+q$

D. $m+n<p+q$ E. $m+n=p+q$

14. 经验表明，如果温度每升高 10℃，反应速率就增大到原来的 2 倍，若使反应温度由原来 20℃升高到 60℃，则反应速率增加到原来的

A. 4 倍 B. 8 倍 C. 16 倍

D. 32 倍 E. 64 倍

15. 有关化学平衡常数的说法，正确的是

A. 反应完全程度的标志 B. 反应的标志 C. 随浓度变化

D. 与温度无关 E. 反应平衡的标志

三、判断题

1. 催化剂既可加快反应速度，也可以改变化学平衡 (　　)
2. 催化剂只能加快正反应速度 (　　)
3. 催化剂改变化学平衡的原因是缩短了达到平衡的时间 (　　)
4. 反应物的本性是影响化学反应速度的决定性因素 (　　)
5. 催化剂加快反应速度的原因是改变反应历程，降低了反应活化能 (　　)
6. 压强不影响固体、液体物质间的反应速率 (　　)
7. 有效碰撞数越多，反应速率就越快 (　　)
8. 活化能越小，化学反应速率越大 (　　)

四、名词解释

1. 有效碰撞
2. 可逆反应
3. 化学平衡

五、简答题

利用化学平衡原理，说明 CO 中毒原理及救治方法。

【拓展习题】

一、填空题

1. 化学平衡状态的主要特征是________；温度一定时，改变浓度、压力可使平衡发生移动，但 K^θ 值________，如温度改变使化学平衡发生移动，此时 K^θ 值________。
2. 加入催化剂可以改变反应速率，但不能影响________，而化学平衡常数________。催化剂加快反应速率主要是因为催化剂参与了反应，________反应途径，________了活化能。

3. 温度一定，转化率随反应物的起始浓度________，平衡常数________反应物的起始浓度而变。

4. 增加反应物浓度，反应速率加快的主要原因是________增加，提高温度，反应速率加快的主要原因是________增加。

5. 增加反应物的量或降低生成物的量，Q________K^{θ}，所以平衡向正反应方向移动；对放热反应，提高温度，Q________K^{θ}，所以平衡向逆反应方向移动。

6. 对于气相反应，当 Δn________0 时，增加压力时，平衡不移动；当 Δn________0 时，增加压力时，平衡向正反应方向移动；当 Δn________0 时，增加压力时，平衡向逆反应方向移动。

7. 在气相平衡 $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g)+Cl_2(g)$ 系统中，如果保持温度、体积不变，充入惰性气体，平衡将__________移动；如果保持温度，压力不变，充入惰性气体，平衡将向__________移动。

8. 在定压下升高温度，虽然正、逆反应速率都会增加，但利于_____________反应，平衡向____________反应方向移动；降低温度，虽然正、逆反应速率都会减小，但利于________反应，平衡向________反应方向移动。

二、选择题

1. 下列方法中，能改变可逆反应的平衡常数的是

A. 改变体系的温度　　B. 改变反应物浓度

C. 加入催化剂　　D. 改变平衡压力

2. 可逆反应达平衡后，若反应速率常数 k 发生变化，则标准平衡常数

A. 一定不变　　B. 一定发生变化

C. 不一定变化　　D. 与 k 无关

3. 已知反应 $H_2S \rightleftharpoons 2H^+ + S^{2-}$　$K_1^{\theta}=K_{a1}^{\theta} \times K_{a2}^{\theta}$　$Zn^{2+} + S^{2-} \rightleftharpoons ZnS(s)$ $K_2^{\theta}=\dfrac{1}{K_{sp}^{\theta}}$ 则反应 $Zn^{2+} + S^{2-} \rightleftharpoons ZnS(s) + 2H^+$ 的平衡常数 K^{θ} 等于

A. $K_1^{\theta}+K_2^{\theta}$　　B. $K_1^{\theta}/K_2^{\theta}$

C. $K_2^{\theta}/K_1^{\theta}$　　D. $K_{a1}^{\theta} \times K_{a2}^{\theta}/K_{sp}^{\theta}$

4. 在 103.7K 时，反应 $CaO(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$ 的 $K^{\theta}=3.1 \times 10^{-5}$，则 CO_2 的相对分压为

A. $\dfrac{1}{3.1 \times 10^{-5}}$　　B. 3.1×10^{-5}

C. $(3.1 \times 10^{-5})^{-2}$　　D. $\sqrt{3.1 \times 10^{-5}}$

5. 反应 $A + B \rightleftharpoons C + D$ 为放热反应，若温度升高 10℃，其结果是

A. 对反应没影响　　B. 使平衡常数减少

C. 不改变反应速率　　D. 使平衡常数增大一倍

6. 反应的温度一定，则下列的陈述中正确的是

A. 转化率能准确代表反应进行的完全程度

B. 平衡常数能准确代表反应进行的完全程度

C. 平衡常数和转化率都能准确代表反应进行的完全程度

D. 平衡常数和转化率都不能代表反应进行的完全程度

7. 下述反应在一定温度下达到平衡，$2SO_2(g)+O_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g)$，保持体积不变，加入惰性气体 He，使总压力增加一倍，则

A. 平衡不移动 B. 平衡向左移动

C. 平衡向右移动 D. 增大一倍

8. 已知 300K 和 101 325Pa 时，下列反应：$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ 达到平衡时有 20% 的 N_2O_4 分解成 NO_2，则此反应在 300K 时的平衡常数 K_p 的数值为

A. 0.27 B. 0.05 C. 0.20 D. 0.17

9. 下面哪一种因素改变，能使任何反应平衡时产物的产量增加

A. 增加压力 B. 升高温度 C. 增加起始物 D. 加入催化剂

10. 有下列平衡 $A(g)+2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$，假如在反应器中加入等物质的量的 A 和 B，在达到平衡时，总是正确的是

A. [B]=[C] B. [A]=[B] C. [A] < [B] D. [B] < [A]

11. 某温度时，反应 $H_2(g)+Br_2(g) \rightleftharpoons 2HBr(g)$ 的 $K_c=4\times10^{-2}$，则反应 $HBr(g) \rightleftharpoons 1/2H_2(g)+1/2Br_2(g)$ 的 K_c 为

A. $\dfrac{1}{\sqrt{4\times10^{-2}}}$ B. $\dfrac{1}{4\times10^{-2}}$ C. 4×10^{-2} D. 2×10^{-2}

12. 在一定温度和压力下，一个反应体系达到平衡时的条件是

A. 正、逆反应速度相等 B. 正、逆反应速度停止

C. 正反应速度减慢，逆反应速度加快 D. 反应物全部转化成产物

13. $N_2(g)+3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)+Q$， 473K 时，三种混合气体达平衡。要使平衡向正方向移动，可采用方法

A. 取出 2mol H_2 B. 加入 NH_3 以增加总压力

C. 减小容器体积以增加总压力 D. 加入稀有气体以增加总压力

14. 在某温度下平衡 $A+B \rightleftharpoons C+D+Q$，升高温度平衡逆向移动的原因是

A. $v_{正}$和 $v_{逆}$都减小 B. $k_{正}$减小，$k_{逆}$增大

C. $v_{正}$减小，$v_{逆}$增大 D. $v_{正}$增加的倍数小于 $v_{逆}$增加的倍数

15. 已知下列前三个反应的 K 值，则第四个反应的 K 值为

(1) $H_2(g)+1/2O_2(g) \rightleftharpoons H_2O(g)$ K_1

（2）$N_2(g)+O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$　　K_2

（3）$2NH_3(g)+5/2O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)+3H_2O(l)$　　K_3

（4）$N_2(g)+3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3$　　K

A. $K_1+K_2-K_3$　　B. $K_1^3 \cdot K_2/K_3$

C. $K_1 \cdot K_2/K_3$　　D. $K_1 \cdot K_3/K_2$

16. 勒沙特列原理

A. 适用所有化学反应　　B. 只适用于气体间的反应

C. 适用于平衡状态下的所有体系　　D. 只限于平衡时的化学反应

17. 设有可逆反应 $aA(g)+bB(g) \rightleftharpoons dD(g)+eE(g)+Q$，且 $a+b>d+e$，要提高 A 和 B 的转化率，应采取的措施是

A. 低温高压　　B. 低温低压　　C. 高温低压　　D. 高温高压

18. 有可逆反应 $C(s)+H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g)+H_2(g)+Q$，下列说法正确的是

A. 加入催化剂可以加快正反应速度

B. 由于反应前后分子数相等，压力对平衡没有影响

C. 加入催化剂可以增加生成物的浓度

D. 加入催化剂可加快反应达到平衡的时间

19. 已知反应 $2SO_2(g)+O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ 平衡常数为 K_1^θ，反应 $SO_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g)$ 平衡常数为 K_2^θ。则 K_1^θ 和 K_2^θ 的关系为

A. $K_1^\theta=K_2^\theta$

B. $K_1^\theta=\sqrt{K_2^\theta}$

C. $K_2^\theta=\sqrt{K_1^\theta}$

D. $2K_1^\theta=K_2^\theta$

20. 反应：$2MnO_4^-+5C_2O_4^{2-}+16H^+=2Mn^{2+}+10CO_2+8H_2O+Q$，欲使 $KMnO_4$ 褪色加快，可采取的措施最好不是

A. 降低温度　　B. 升高温度　　C. 加酸　　D. 增加 $C_2O_4^{2-}$ 浓度

三、判断题

1. 一个已达平衡的化学反应，只有当标准平衡常数改变时，平衡才会移动（　　）

2. 一个可逆反应达到平衡的标志是各物质浓度不随时间而改变（　　）

3. 对于反应前后分子数相等的反应，增加压力对平衡不会产生影响（　　）

4. 当化学平衡移动时，平衡常数也一定随之改变（　　）

5. 对于可逆反应：$C(s)+H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g)+H_2(g)-Q$，达平衡时各反应物和生成物的分压一定相等（　　）

6. 对于可逆反应:$C(s)+H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g)+H_2(g)-Q$, 由于反应前后分子数目相等，所以增加压力对平衡无影响 （ ）

7. 对于可逆反应：$C(s)+H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g)+H_2(g)-Q$, 加入催化剂使 V 正增加，故平衡向右移动 （ ）

8. 对于可逆反应：$C(s)+H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g)+H_2(g)-Q$, 升高温度，平衡向右移动 （ ）

四、简答题

1. 写出下列各反应的标准平衡常数 K^θ 的表示式。

（1）$NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons NO_2(g)$

（2）$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 2H_2O(l)$

（3）$2MnO_4^-(aq) + 5H_2O_2(aq) + 6H^+(aq) \rightleftharpoons 2Mn^{2+}(aq) + 5O_2(g) + 8H_2O(l)$

2. 已知反应 $ICl(g) \rightleftharpoons 1/2\ I_2(g) + 1/2\ Cl_2(g)$ 在 25 ℃ 时的平衡常数为 $K^\theta = 2.2 \times 10^{-3}$，试计算下列反应的平衡常数：

（1）$2ICl(g) = I_2(g) + Cl_2(g)$

（2）$1/2\ I_2(g) + 1/2\ Cl_2(g) = ICl(g)$

3. 平衡常数能否代表转化率？如何正确认识两者之间的关系？

五、计算题

1. 已知下列反应在 1362K 时的平衡常数：

$H_2(g) + \frac{1}{2}S_2(g) \rightleftharpoons H_2S(g)$ $\quad K_1^\theta=0.80$

$3H_2(g) + SO_2(g) \rightleftharpoons H_2S(g) + 2H_2O(g)$ $\quad K_2^\theta=1.8 \times 104$

计算反应：$4H_2(g) + 2SO_2(g) \rightleftharpoons S_2(g) + 4H_2O(g)$ 在 1362K 时的平衡常数 K^θ。

2. 已知：$HCN = H^+ + CN^-$ $\quad K_1^\theta = 4.9 \times 10^{-10}$

$NH_3 + H_2O = NH_4^+ + OH^-$ $\quad K_2^\theta = 1.8 \times 10^{-5}$

$H_2O = H^+ + OH^-$ $\quad K_3^\theta = 1.0 \times 10^{-14}$

求反应：$NH_3 + HCN = NH_4^+ + CN^-$ 的平衡常数 K^θ。

3. $PCl_5(g)$在523K达到分解平衡：$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$平衡浓度: $[PCl_5]=1mol/L$，$[PCl_3]=[Cl_2]=0.204mol/L$。若温度不变而压强减小一半，在新的平衡体系中各物质的浓度为多少？

4. 700K 时，反应 $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ 的 $K^\theta=11.5$，若 $PCl_5(g)$ 起始压力为 3.03×10^5Pa，求达到平衡时 $PCl_5(g)$ 的转化率为多少？

5. 对于下列化学平衡 $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$ 在 698K 时，$K_c=1.82 \times 10^{-2}$。如果将 HI（g）放入反应瓶内，问：

（1）在 [HI] 为 $0.0100mol \cdot dm^{-3}$ 时，$[H_2]$ 和 $[I_2]$ 各是多少？

（2）HI（g）的初始浓度是多少？

（3）在平衡时 HI 的转化率是多少？

（石灵高）

七、酸碱平衡

【学习要点】

酸碱平衡是化学平衡学习中一个很重要的组成部分，也是后续课程病理生理学等课程要求重点掌握的知识点之一，要想很好解答酸碱平衡紊乱的问题，就要掌握好酸碱平衡的学习。要学好酸碱平衡要好好学习掌握以下知识点：

1. 酸碱理论　酸碱电离理论、酸碱质子理论、酸碱电子理论。

2. 酸碱解离平衡　共轭酸碱对、缓冲溶液。

3. 水溶液中质子转移平衡　溶液 pH 计算。

【基础练习题】

一、填空题

1. 酸碱电离理论认为，________叫作酸，________叫作碱。

2. 酸碱质子理论认为，________叫作酸，________叫作碱。________叫两性物质。

3. 仅相差一个质子的一对酸碱（$HB-B^-$）称为________，共轭酸的酸性愈强，其对应的共轭碱的碱性愈________，共轭酸的酸性愈弱，其对应的共轭碱的碱性愈________。

4. 酸碱质子理论认为，酸碱反应的实质是________。

5. 缓冲溶液的缓冲作用表现在________、________和________三个方面。

6. 缓冲溶液的 pH 大小，取决于________和________。

7. 缓冲溶液作用的有效范围在________。

二、选择题

1. 根据质子理论，下列物质仅属于酸的是

A. HS^-　　B. H_2O　　C. NH_3

D. NH_4^+　　E. Ac^-

2. 根据质子理论，下列物质仅属于碱的是

A. HS^-　　B. H_2O　　C. OH^-

D. NH_4^+　　E. HCO_3^-

3. 根据质子理论，下列物质不属于两性的物质是

A. HS^-　　B. H_2O　　C. HCO_3^-

D. NH_4^+　　E. $H_2PO_4^-$

4. 下列各物质可组成共轭酸碱对的是

A. $HAc-H_2CO_3$ B. $NH_3 \cdot H_2O-NaOH$ C. HAc–NaOH

D. $H_2CO_3-NaHCO_3$ E. H_2SO_4-NaOH

5. 根据酸碱质子理论，下列物质中是两性物质的是

A. HCN B. NH_4^+ C. CO_3^{2-}

D. HCO_3^- E. H_3O^+

6. 水的离子积适用于

A. 酸性溶液 B. 碱性溶液 C. 中性溶液

D. 酸碱性溶液 E. 以上都适用

7. pH=6 的溶液稀释 100 倍，溶液的 pH 为

A. 7 B. 6~7 C. 7~8

D. 8 E. 4

8. pH=8 的溶液稀释 100 倍，溶液的 pH 为

A. 7 B. 6~7 C. 7~8

D. 10 E. 6

9. 酸性溶液的 pH 可能是

A. >7 B. <7 C. =7

D. 6~7 E. 0~1

10. 碱性溶液的 pH 可能是

A. >7 B. <7 C. =7

D. 7~8 E. 0~1

11. 酸性最强的溶液是

A. pH = 4 B. pH = 6 C. $[H^+] = 10^{-5}$mol/L

D. $[OH^-] = 10^{-9}$mol/L E. $[OH^-] = 10^{-11}$mol/L

12. 若 pH<5.6 时的雨水称为酸雨，下列酸度的雨水属于酸雨的是

A. $[H^+]<10^{-6}$ B. $[H^+]=10^{-7}$ C. $[OH^-]>10^{-8}$

D. $[OH^-]=10^{-9}$ E. $[OH^-]>10^{-9}$

13. 溶液的 pH 由 4 变为 6 时，其中 $[OH^-]$ 是

A. 增大 100 倍 B. 增大 2 倍 C. 减少 2 倍

D. 减少 100 倍 E. 减少 20 倍

14. 碱性溶液，其 pH

A. =0 B. <7 C. =7

D. >7 E. ≥ 7

15. 溶液的 $[H^+]$ 值由 10^{-6} 变为 10^{-4} 时，其中 pH 是

A. 减少 2 个单位　B. 增大 2 个单位　C. 减少 2 倍

D. 减少 100 倍　E. 减少 20 倍

16. 下列物质没有共轭碱的是

A. H_2SO_4　B. HSO_4^-　C. $H_3SO_4^+$

D. SO_4^{2-}　E. H_2O

17. 酸性最弱的是

A. HAc $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$　B. H_2CO_3 $K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7}$　C. HCN $K_a = 5 \times 10^{-10}$

D. H_2S $K_{a1} = 9.1 \times 10^{-8}$　E. HCOOH $K_a = 1.77 \times 10^{-4}$

18. 在 HAc 溶液中加入________会产生同离子效应

A. NaOH　B. $NH_3 \cdot H_2O$　C. NaCl

D. NaAc　E. NH_4Cl

19. 在 HAc 溶液中加入 NaAc 后，溶液的 pH 会

A. 不变　B. 增大　C. 减小

D. 不变或减小　E. 变化不定

20. 在 $NH_3 \cdot H_2O$ 中加入 NH_4Cl 后溶液的 pH

A. 不变　B. 增大　C. 减小

D. 不变或减小　E. 变化不定

21. 在 $NH_3 \cdot H_2O$ 中加入酚酞，溶液呈红色，若逐渐加入 NH_4Cl 后溶液的颜色

A. 不变　B. 变浅　C. 变深

D. 变浅，最后变成无色　E. 变化不定

22. 对于 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 的叙述，正确的是

A. 都是强酸弱碱盐　B. 水溶液都显酸性　C. 不能相互转化

D. 能组成缓冲溶液　E. 不能组成酸碱对

23. 下列各物质可组成缓冲对的是

A. $HAc-H_2CO_3$　B. $NH_3 \cdot H_2O-NaOH$　C. HAc−NaOH

D. $H_2CO_3-NaHCO_3$　E. H_2SO_4-NaOH

24. 在 HAc−NaAc 组成的缓冲对中，抗酸的成分是

A. HAc　B. HAc−NaAc　C. NaAc

D. Na^+　E. H^+

25. 同浓度体积的 HAc 与 NaAc 混合，下列哪种近似是正确的

A. $[HAc]=[H^+]$　B. $[HAc]=[OH^-]$　C. $[Na^+]=[Ac^-]$

D. $[Na^+]=[OH^-]$　E. $[H^+]=[OH^-]$

三、判断题

1. 根据酸碱质子理论，酸性越强，其给出质子的能力越强 (　　)
2. 碱性溶液的 pH 一定大于 7 (　　)
3. pH 一定大于 7 的溶液一定是碱 (　　)
4. 中性溶液中不存在 H^+，也不存在 OH^- (　　)
5. 电离常数 K 值越大，电离程度越大 (　　)
6. 能抵抗外加少量强酸、强碱或稀释而保持 pH 基本不变的溶液称为缓冲溶液 (　　)
7. 缓冲溶液的 pH 主要决定于缓冲比，与共轭酸 HB 的 K_a 值无关 (　　)
8. 根据质子理论，H_2O 是两性物质 (　　)

四、简答与计算

1. 0.1mol/L NaAc 溶液 50ml 与 1mol/L HAc 溶液 50ml 组成缓冲溶液，求溶液的 pH，已知 pK_a（H_{Ac}）=4.75。
2. 0.1mol/L HAc 溶液 50ml 与 1mol/L NaAc 溶液 50ml 组成缓冲溶液，求溶液的 pH，已知 pK_a（H_{Ac}）=4.75。
3. 已知血液中缓冲系 HCO_3^-–CO_2（溶解）的 pK_a=6.4，要保持血液的 pH=7.4，需要 $[HCO_3^-]$/ $[CO_2$（溶解）] 的缓冲比为多少？
4. 以 HAc–NaAc 为例说明缓冲溶液的缓冲作用原理。
5. 什么是缓冲溶液？

【拓展习题】

1. 以下哪些物种是酸碱质子理论的酸、哪些是碱，哪些具有酸碱两性？
   SO_4^{2-}、S^{2-}、$H_2PO_4^-$、NH_3、HSO_4^-、$[Al(H_2O)_2OH]^{2+}$、CO_3^{2-}、NH_4^+、H_2S、H_2O、OH^-、H_3O^+、HS^-、HPO_4^{2-}、SO_4^{2-}
2. 把下列溶液的 pH 换算成 $[H^+]$：
   （1）牛奶的 pH = 6.5
   （2）柠檬汁的 pH =2.3
   （3）葡萄酒的 pH=3.3
   （4）啤酒的 pH=4.5
3. 什么是分级解离？为什么多元弱酸的分级解离常数逐级减小？
4. 下列几组等体积混合物溶液中哪些是较好的缓冲溶液？哪代是较差的缓冲溶液？还有哪些根本不是缓冲溶液？
   （1）10^{-5}mol/L HAc + 10^{-5}mol/L NaAc
   （2）1.0mol/L HCl + 1.0mol/L NaCl
   （3）0.5mol/L HAc + 0.7mol/L NaAc

（4）0.1mol/L NH_3 + 0.1mol/L NH_4Cl

（5）0.2mol/L HAc + 0.002mol/L NaAc

5. 欲配制 pH 为 3 的缓冲溶液，已知有下列物质的 K 值：

（1）HCOOH　　$K_a^\theta = 1.77 \times 10^{-4}$

（2）HAc　　$K_a^\theta = 1.76 \times 10^{-5}$

（3）NH_4^+　　$K_a^\theta = 5.65 \times 10^{-10}$

问选择哪一种弱酸及其共轭碱较合适？

6. 将 0.20mol/L HCOOH（K_a^θ=1.8×10^{-4}）溶液和 0.40mol/L HCN（K_a^θ=6.2×10^{-10}）溶液等体积混合，求混合溶液的 pH。

7.（1）写出下列各种物质的共轭酸。

（a）CO_3^{2-}　（b）HS^-　（c）H_2O　（d）HPO_4^{2-}　（e）NH_3　（f）S^{2-}

（2）写出下列各种物质的共轭碱。

（a）H_3PO_4　（b）HAc　（c）HS^-　（d）HNO_2　（e）HClO　（f）H_2CO_3

8. 回答下列问题，简述理由：

（1）NaHS 溶液呈弱碱性，Na_2S 溶液呈较强碱性。

（2）同是酸式盐，NaH_2PO_4 溶液为酸性，Na_2HPO_4 溶液为碱性。

9. 某一元弱酸 HA 的浓度为 0.010mol/L，在常温下测得其 pH 为 4.0。求该一元弱酸的解离常数和解离度。

10. 已知 0.010mol/L H_2SO_4 溶液的 pH=1.84，求 HSO_4^- 的解离常数。

11. 25℃标准压力 CO_2 气体在水中的溶解度为 0.034mol/L，求溶液的 pH 和 [CO_3^{2-}]。

12. 在 1L 1.0mol/L 氨水中，应加入多少克固体（NH_4）$_2SO_4$，才能使溶液的 pH 等于 9.00（忽略固体加入对溶液体积的影响）。

13. 取 100g NaAc·3H_2O，加入 13ml 6.0mol/L HAc 溶液，然后用水稀释至 1L，此缓冲溶液的 pH 是多少？若向此溶液中通入 0.10mol HCl 气体（忽略溶液体积的变化），求溶液的 pH 变化是多少？

14. 分别计算下列混合溶液的 pH：

（1）50.0ml 0.200mol/L NH_4Cl 和 50.0ml 0.200mol/L NaOH 。

（2）50.0ml 0.200mol/L NH_4Cl 和 25.0ml 0.200mol/L NaOH。

（3）25.0ml 0.200mol/L NH_4Cl 和 50.0ml 0.200mol/L NaOH。

（4）20.0ml 1.00mol/L $H_2C_2O_4$ 和 30.0ml 1.00mol/L NaOH。

（甘琳琳）

八、难溶电解质的沉淀 – 溶解平衡

【学习要点】

难溶电解质的沉淀 – 溶解平衡是化学平衡中四大平衡之一，掌握好难溶电解质的沉淀 – 溶解平衡，能加深对化学平衡的理解，可以通过对比酸碱平衡进行类比学习。难溶电解质的沉淀 – 溶解平衡主要知识点：

1. 溶电解质的沉淀 – 溶解平衡　溶度积常数。

2. 沉淀的生成和溶解　同离子效应、盐效应。

【基础练习题】

一、选择题

1. 下列常数 K，哪一种是表示溶度积常数

A. K_c　B. K_a　C. K_i　D. K_{sp}　E. K_b

2. 对于 K_{sp} 的描述，正确的是

A. K_{sp} 反映难溶强电解质在水中的溶解能力

B. K_{sp} 反映强电解质在水中的溶解能力

C. K_{sp} 反映难溶强电解质在水中的水解能力

D. K_{sp}=Q

E. K_{sp} 越大，溶解度也越大

3. 当沉淀 – 溶解达成平衡时，下列哪种表达式成立

A. K_{sp}>Q　B. K_{sp}<Q　C. K_{sp}=Q

D. $K_{sp} \geqslant Q$　E. $K_{sp} \leqslant Q$

4. 下列有关 K_{sp}、Q 值关系描述正确的是

A. K_{sp}>Q 沉淀生成　B. K_{sp}<Q 沉淀溶解

C. K_{sp}=Q 为饱和溶液　D. K_{sp}>Q 沉淀生成，不饱和溶液

E. K_{sp}<Q 沉淀溶解，过饱和溶液

5. 当溶度积 K_{sp} 和离子积 Q 之间满足下列哪种条件时，有沉淀析出

A. $Q = K_{sp}$　B. $Q < K_{sp}$　C. $Q > K_{sp}$

D. $Q \geqslant K_{sp}$　E. $Q \leqslant K_{sp}$

6. 能使 AgCl 沉淀溶解的试剂是

A. NaOH　B. $NH_3 \cdot H_2O$　C. H_2SO_4

D. NaCl　E. HNO_3

二、判断题

溶解度大的物质，其 K_{sp} 一定大 （　　）

三、简答与计算

1. 等体积浓度均为 $0.20mol \cdot L^{-1}$ 的 $AgNO_3$ 和 KI 溶液混合，当沉淀完全后溶液中是否还有 Ag^+ 和 I^- 存在？解释原因？ [K_{sp}（AgI）$=9\times10^{-16}$]
2. 某溶液中含有 Ba^{2+}、Mg^{2+}、Pb^{2+}，溶液均为 0.01mol/L，慢慢滴加 Na_2CO_3 溶液，请问哪种离子先沉淀，三种离子的溶液顺序是什么？[已知 K_{sp}（$BaCO_3$）$=2.58\times10^{-9}$、K_{sp}（$MgCO_3$）$=6.82\times10^{-6}$、K_{sp}（$PbCO_3$）$=1.46\times10^{-13}$]
3. 向含有 Ag^+ 的溶液中加入 NaCl 溶液有沉淀生成，而往此溶液中继续加入过量的氨水则沉淀溶解，再往此溶液中加入 KI 溶液又会析出沉淀，请解释原因
4. AgCl 沉淀溶于氨水，再加入 HNO_3 酸化，则又有 AgCl 沉淀析出，请解释原因。

【拓展习题】

1. 强电解质的水溶液有强的导电性，但 AgCl 和 $BaSO_4$ 水溶液的导电性很弱，它们属于何种电解质？
2. 若要比较难溶电解质溶解度的大小，是否可以根据各难溶电解质的溶度积大小直接比较？即溶度积较大的，溶解度就较大，溶度积较小的，溶解度也就较小？为什么？
3. 试用溶度积规则解释下列事实：

（1）$CaCO_3$ 溶于稀 HCl 中。

（2）Mg（OH）$_2$ 溶于 NH_4Cl 溶液中。

（3）AgCl 溶于氨水，加入 HNO_3 后沉淀又出现。

（4）往 $ZnSO_4$ 溶液中通入 H_2S 气体，ZnS 往往沉淀不完全，甚至不沉淀。若往 $ZnSO_4$ 溶液中先加入适当的 NaAc，再通入 H_2S 气体，ZnS 几乎完全沉淀。

4. 在多相离子体系中，同离子效应的作用是什么？
5. 在草酸（$H_2C_2O_4$）溶液中加入 $CaCl_2$ 溶液后得到 $CaC_2O_4{}^{-}H_2O$ 沉淀，将沉淀过滤后，在滤液中加入氨水后又有 $CaC_2O_4\cdot H_2O$ 沉淀产生。试从离子平衡的观点加以说明。
6. 解释下列问题：

（1）在洗涤 $BaSO_4$ 沉淀时，不用蒸馏水而用稀 H_2SO_4。

（2）虽然 K_{sp}^{O}（$PbCO_3$）$=7.4\times10^{-14}<K_{sp}^{O}$（$PbSO_4$）$=1.6\times10^{-8}$，但 $PbCO_3$ 能溶于 HNO_3，$PbSO_4$ 不溶。

7. 回答下列问题，简述理由：

（1）如何配制 $SnCl_2$，Bi（NO_3）$_3$，Na_2S 溶液。

（2）为何不能在水溶液中制备 Al_2S_3。

（3）$CaCO_3$ 在下列哪种试剂中溶解度最大？

纯水，0.1mol/L Na_2CO_3，0.1mol/L $CaCl_2$，0.5 mol/L KNO_3。

（4）溶液的 pH 降低时，下列哪一种物质的溶解度基本不变？

$Al(OH)_3$　AgAc　$ZnCO_3$　$PbCl_2$

8. 写出下列各难溶电解质的溶度积 K_{sp}^0 的表达式（不考虑离子水解）：

$PbCl_2$　Ag_2S　Fe_2S_3　$Ba_3(PO_4)_2$

9. 根据下列给定条件求溶度积常数。

（1）$FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$ 在 $1dm^3$ 水中能溶解 0.10g。

（2）$Ni(OH)_2$ 在 pH=9.00 的溶液的溶解度为 1.6×10^{-6}mol/L。

10. 已知下列物质的溶度积常数 K_{sp}^0，计算其饱和溶液中各种离子的浓度。

（1）CaF_2：$K_{sp}^0(CaF_2)=5.3\times10^{-9}$

（2）$PbSO_4$：$K_{sp}^0(PbSO_4)=1.6\times10^{-8}$

11. 在下列溶液中不断通入 H_2S，计算溶液中最后残留的 Cu^{2+} 的浓度。

（1）0.10 mol/L $CuSO_4$ 溶液。

（2）0.10 mol/L $CuSO_4$ 与 1.0mol/L HCl 的混合溶液。

12. 已知 298.15K 时 $Mg(OH)_2$ 的溶度积为 5.56×10^{-12}。计算：

（1）$Mg(OH)_2$ 在纯水中的溶解度（mol/L），Mg^{2+} 及 OH^- 离子的浓度。

（2）$Mg(OH)_2$ 在 0.01mol/L NaOH 溶液中的溶解度。

（3）$Mg(OH)_2$ 在 0.01mol/L $MgCl_2$ 溶液中的溶解度。

13. 试计算下列沉淀转化反应的 K^0 值：

（1）$PbCrO_4(s)+S^{2-}(aq) \rightleftharpoons PbS(s)+CrO_4^{2-}(aq)$

（2）$Ag_2CrO_4(s)+2Br^-(aq) \rightleftharpoons 2AgBr(s)+CrO_4^{2-}(aq)$

14. 一种混合溶液中含有 3.0×10^{-2}mol/L Pb^{2+} 和 2.0×10^{-2}mol/L Cr^{3+}，若向其中逐滴加入浓 NaOH 溶液（忽略溶液体积变化），Pb^{2+} 与 Cr^{3+} 均有可能生成氢氧化物沉淀。

问：（1）哪种离子首先被沉淀？

（2）若要分离这两种离子，溶液的应控制 pH 在什么范围？

15. 某混合溶液中阳离子的浓度及其氢氧化物的溶度积如下：

向混合溶液中加入 NaOH 溶液使溶液的体积为原来的 2 倍时，恰好使 50% 的 Mg^{2+} 沉淀。问：

（1）此时溶液的 pH 是多少？

（2）其他阳离子被沉淀的物质的量分数是多少？

16. 在 1L 0.20mol/L $ZnSO_4$ 溶液中含有 Fe^{2+} 杂质为 0.056g。加入氧化剂将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} 后，调 pH 生成 $Fe(OH)_3$ 而除去杂质，问为何要把 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+}？如何

控制溶液的 pH？已知：K_{sp}^{0} Zn（OH）$_2$=1.2 × 10^{-17}，K_{sp}^{0}Fe（OH）$_3$ = 4 × 10^{-38}，K_{sp}^{0}Fe（OH）$_2$ = 8 × 10^{-16}。

17. 将 Na_2SO_4 加到浓度均为 0.10mol/L 的 Ba^{2+} 和 Sr^{2+} 的混合溶液中，当 Ba^{2+} 已有 99.99% 沉淀为 $BaSO_4$ 时停止加入 Na_2SO_4。计算残留在溶液中 Sr^{2+} 的物质的量分数。已知：K_{sp}^{0}（$BaSO_4$）=1.1 × 10^{-10}，K_{sp}^{0}（$SrSO_4$）=3.2 × 10^{-7}。

（吕保樱）

九、氧化还原与电极电势

【学习要点】

氧化还原与电极电势的学习中出现了氧化－还原这两个相对的概念，学习中很容易混淆，学习中可以结合实例找到一些规律来加强理解掌握。对电极电势的学习可以进行生活小实验提高兴趣与加深对抽象感念的理解，比如可以分学习小组实际制作水果电池并比较常见金属的电极电势。主要知识点有：

1. 氧化还原反应　氧化剂与还原剂、方程式配平。

2. 电极电势　标准电极电势、能斯特方程。

3. 元素电势图　电势－pH 图。

【基础练习题】

一、填空题

1. 从本质上看，凡是有________都是氧化还原反应；________称氧化反应；________称还原反应。

2. 凡是________称氧化剂，凡是________称还原剂。

3. 原电池的电动势 $\varepsilon = \varphi_{正} - \varphi_{负}$，当________时，电池反应可以自发进行，当________时，则电池反应逆向进行。

4. 由 Cu 与 Zn 组成的原电池，用电池符号表示为________。

5. 单个电极电势是________，国际规定以标准氢电极作为比较标准，并规定标准氢电极的电极电势为________。

6. 标准状态下，电对的 φ_0 值越大，其氧化型的氧化性越________，反之，电对的 φ_0 值越小，其还原型的还原性越________。

7. 浓度对电极电势的影响可用________方程式表示。

二、选择题

1. 对氧化剂叙述错误的是

A. 化合价降低的物质　　B. 具有氧化性　　C. 本身被还原

D. 本身被氧化　　E. 高价态的金属离子

2. 下列物质只能做氧化剂的是

A. Fe^{3+}　　B. Fe^{2+}　　C. Zn

D. Cl^-　　E. S^{2-}

3. 下列物质只能做还原剂的是

A. Fe^{3+}　　B. Fe^{2+}　　C. Zn

D. Ag^+　　E. S

4. 下列物质既可做还原剂，也可做氧化剂的是

A. $KMnO_4$　　B. Fe^{2+}　　C. Zn

D. Ag^+　　E. S^{2-}

5. 下列有关电极电势描述正确的是

A. 电对的 φ_0 值越大，其氧化型的氧化性越强

B. 电对的 φ_0 值越大，其还原型的还原性越强

C. 电对的 φ_0 值越小，其氧化型的氧化性越强

D. 电对的 φ_0 值越小，其还原型的还原性越弱

E. 以上均不正确

6. 电极电势 φ_0 值的大小取决于

A. 电极本性，也与浓度、温度介质等外界因素有关

B. 仅取决于电极本性，与浓度无关

C. 仅与外界因素有关

D. 只与浓度有关

E. 只与温度有关

三、判断题

1. 凡是有电子得失的反应称为氧化还原反应　（　　）

2. 从能斯特方程可知，氧化还原电对的性质是决定电极电势高低的主要因素　（　　）

四、简答与计算

1. 金属铁能置换铜离子，而三氯化铁又能溶解铜板，请用加以解释，查表知：

$Fe^{2+} + 2e = Fe \quad \varphi_0 = -0.447V$

$Fe^{2+} + e = Fe^{3+} \quad \varphi_0 = 0.771V$

$Cu^{2+} + 2e = Cu \quad \varphi_0 = 0.34V$

2. 碘化钾、硫酸亚铁在空气中久置会变黄，请用加以解释，查表知：

$I_2 + 2e = 2I^- \quad \varphi_0 = 0.533$

$Fe^{2+} + e = Fe^{3+} \quad \varphi_0 = 0.771V$

$O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O \quad \varphi_0 = 1.23V$

【拓展习题】

1. 用离子电子法配平下列电极反应：

（1）$MnO_4^- \longrightarrow MnO_2$ （碱性介质）

（2）$CrO_4^{2-} \longrightarrow Cr(OH)_3$ （碱性介质）

（3）$H_2O_2 \longrightarrow H_2O$ （酸性介质）

（4）$H_3AsO_4 \longrightarrow H_3AsO_3$ （酸性介质）

（5）$O_2 \longrightarrow H_2O_2(aq)$ （酸性介质）

2. 现有下列物质：$KMnO_4$，$K_2Cr_2O_7$，$CuCl_2$，$FeCl_2$，I_2，Br_2，Cl_2，F_2 在一定条件下它们都能作为氧化剂，试根据电极电势表，把这些物质按氧化本领的大小排列成顺序，并写出它们在酸性介质中的还原产物。

3. 现有下列物质：$FeCl_2$，$SnCl_2$，H_2，KI，Li，Mg，Al，它们都能作为还原剂，试根据标准电极电势表，把这些物质按还原本领的大小排列成顺序，并写出它们在酸性介质中的氧化产物。

4. 利用氧化还原电势表，判断下列反应能否发生歧化反应。

$2Cu \rightleftharpoons Cu + Cu^{2+}$

$Hg_2^{2+} \rightleftharpoons Hg + Hg^{2+}$

$2OH^- + I_2 \rightleftharpoons IO^- + I^- + H_2O$

$H_2O + I_2 \rightleftharpoons HIO + I^- + H^+$

5. 已知电对 $Ag^+ + e \rightleftharpoons Ag$，$\varphi^\theta = +0.799V$，$Ag_2C_2O_4$ 的溶度积为：3.5×10^{-11}。求算电对 $Ag_2C_2O_4 + 2e \rightleftharpoons 2Ag + C_2O_4^{2-}$ 的标准电极电势。

6. 将一个压强为 1.013×10^5Pa 的氢电极和一个含有 90% 氩气，压强 1.013×10^5Pa 的氢电极侵入盐酸中，求此电池的电动势 E。

7. 含有铜和镍的酸性水溶液，其浓度分别为 $[Cu^{2+}]=0.015mol/L$，$[Ni^{2+}]=0.23mol/L$，$[H^+]=0.72mol/L$，最先放电析出的是哪种物质，最难析出的是哪种物质？

8. 在 298K 时反应 $Fe^{3+} + Ag \rightleftharpoons Fe^{2+} + Ag^+$ 的平衡常数为 0.531。已知 $\varphi^\theta_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0.770V$，计算 $\varphi^\theta_{Ag^+/Ag}$。

9. 粗铜片中常含杂质 Zn，Pb，Fe，Ag 等，将粗铜作阳极，纯铜作阴极，进行电解炼，可以得到纯度为 99.99% 的铜，试用电极电势说明这四种杂质是怎样和铜分离的。

（岑春田）

十、配位化合物和生物元素

【学习要点】

通过配位化合物的学习，可以对比学过的物质结构理论和化学平衡原理，更好地理解和掌握配合物的价键理论和配位平衡的知识。同时，化学四大平衡到这一章已经全部学习完毕，通过对比四大化学平衡来总结所学的主要知识点，做到温故知新，达到融会贯通。本章知识点：

1. 配合物的价键理论　配合物的磁性、晶体场理论。

2. 配位平衡　配位平衡常数、配位平衡的移动。

【基础练习题】

一、填空题

1. 配合物的中心离子必须具有________，作为配位体的配原子必须具有________。

2. 具有________结构的配合物称为螯合物，螯合物的配体属于________。

3. 配合物主要可分为________和________两大类。

4. 氨分子中有________个配位原子；乙二胺作配体，则有________个配位原子。

二、选择题

1. 化合物 $K_4[Fe(CN)_6]$ 的名称是

A. 六氰一铁（Ⅱ）酸钾　B. 六氰合铁（Ⅱ）酸钾　C. 六氰一铁（Ⅲ）酸钾

D. 六氰合铁（Ⅲ）酸钾　E. 六氰合铁（Ⅲ）钾

2. 关于配合物的叙述正确的是

A. 外界离子都是阴离子　B. 配位体都是阴离子

C. 配位数一定是中心离子的两倍　D. 配合物的组成通常有内外界之分

E. 中心离子都是金属元素

3. 下列离子中，不能成为配合物中心原子的是

A. NH_4^+　B. Fe^{3+}　C. Ag^+

D. Cu^{2+}　E. Co^{2+}

4. 下列化合物中，包含多种化学键的是

A. CO_2　B. NaCl　C. $[Cu(NH_3)_4]SO_4$

D. O_2　E. H_2O

5. 配合物中特征化学键是

A. 离子键　B. 极性键　C. 金属键

D. 配位键　E. 非极性键

6. 下列物质中，属于多齿配体的是

A. Cl^-　　B. F^-　　C. SCN^-

D. en　　E. CO

7. 配合物 $[Fe(en)_2(NH_3)_2](NO_3)_3$ 的配位数是

A. 5　　B. 6　　C. 7

D. 4　　E. 8

8. 将 KSCN 加入到下列哪种溶液中呈现血红色

A. $K_3[Fe(CN)_6]$　　B. $K_4[Fe(CN)_6]$　　C. $[Fe(CO)_5]$

D. $NH_4 \cdot Fe(SO_4)_2$　　E. $NH_3 \cdot H_2O$

9. 能使 AgCl 沉淀溶解的试剂是

A. NaOH　　B. $NH_3 \cdot H_2O$　　C. H_2SO_4

D. NaCl　　E. H_2CO_3

10. 不属于生命结构元素的是

A. C　　B. H　　C. Ca

D. Ag　　E. Mg

11. 形成强硬的骨骼．防龋齿所必需的元素是

A. 碘　　B. 氯　　C. 氟

D. 硫　　E. 氧

三、判断题

1. 配合物的组成复杂，复盐也由多种离子组成，所以复盐也是配合物　（　　）

2. 配合物中一定含有配位键　（　　）

四、命名题

1. 命名下列配合物：

$[Co(NH_3)_4(H_2O)Cl_2]OH$________，$[Cu(NH_3)_2]Cl$________。

2. 写出下列配合物化学式：

硫酸四氨合铜（Ⅱ）________，六氯合铂（Ⅳ）酸钾________。

五、简答与计算

在 $NH_4Fe(SO_4)_2$ 和 $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液中各加入 KSCN 有何现象发生？请解释原因。

【拓展习题】

1. 为什么大多数 Cu（Ⅱ）配离子的空间构型为平面四边形？

2. 为何大多数过渡元素的配离子是有色的？而大多数 Zn（Ⅱ）的配离子是无色的？

3. $K_4[Mn(CN)_6]$ 是高自旋或是低自旋的？说明理由。

4. 为何用简单的锌盐和铜盐的混合溶液进行电渡，锌和铜不会同时析出。如果在此混合溶液中加入 NaCN 溶液就可渡出黄铜（锌铜合金）？
5. 如何用配位场理论解释 $CuSO_4$ 是白色粉末，$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 是蓝色晶体。
6. 已知 $[FeF_6]^{3-}$ 为外轨型高自旋配离子，试分别按价键理论和晶体场理论解释之，并从电子排布说明其成单电子数是否相同。
7. 试根据晶体场理论说明具有 d^4、d^5、d^6、d^7 构型的过渡金属离子分别在强、弱八面体场中 d 电子的分布方式及自旋状态。
8. 试根据晶体场理论，简要说明下列问题：

（1）Ni^{2+} 的八面体配合物都是高自旋配合物。

（2）过渡金属的水合离子多数有颜色，也有少数是无色的。

（覃永余）

十一、s 区重要元素及其化合物

【学习要点】

通过 s 区重要元素的学习，可以加深对元素周期表与周期律的理解，也能很好的对元素周期表这一工具运用有更深入的了解。知识点有：

1. 金属通论　s 区元素的通性。

2. 碱金属与碱土金属　对角线规则、离子鉴定。

【基础练习题】

一、填空题

1. 碱金属元素包括________（写出名称、符号），它们的原子最外层上都只有________个电子。
2. 碱金属在化学反应中容易________电子，形成________离子，它们都有强________性。
3. 相同质量的钠和钾，分别投入足量的水中，反应更剧烈的是________，产生氢气更多的是________。

二、选择题

1. 过氧化钠是

A. 白色固体粉末　B. 黄色固体粉末　C. 淡黄色固体粉末

D. 无色固体粉末　E. 黑色固体粉末

2. 以下叙述钠跟水反应的现象正确的是

A. 钠浮在水面，反应很快停止

B. 钠浮在水面剧烈燃烧，火焰呈黄色

C. 钠熔化成闪亮的小球，浮在水面，不断滚动，嘶嘶作响，放出气体

D. 钠熔化成闪亮的小球，沉在水底，并有气泡产生

E. 钠浮在水面缓慢燃烧，火焰呈白色

3. 在盛有 NaOH 溶液的试剂瓶口，常看到白色固体生成，该固体是

A. NaOH　　B. Na_2O　　C. $NaHCO_3$

D. Na_2CO_3　　E. Na_2SO_4

4. 金属钠比金属钾

A. 金属性强　　B. 还原性弱　　C. 原子半径大

D. 熔点高　　E. 密度大

5. 某碱金属 0.195g 跟足量的水反应时，生成 0.005g 氢气，这种金属是

A. 锂　　B. 钠　　C. 钾

D. 铷　　E. 铯

6. 下列各组物质混合后不能生成 NaOH 的是

A. Na 和 H_2O　　B. Na_2SO_4 溶液和 $Mg(OH)_2$

C. Na_2O 和 H_2O　　D. Na_2CO_3 溶液和 $Ca(OH)_2$

E. Na_2O_2 和 H_2O

7. 下列关于碱金属化学性质的叙述错误的是

A. 化学性质都很活泼

B. 都是强还原剂

C. 都能在氧气里燃烧生成 M_2O（M 为碱金属）

D. 都能跟水反应产生氢气

E. 都能跟卤素反应

8. 下列叙述中错误的是

A. 原子半径是 Li<Na<K<Rb<Cs

B. 同种碱金属元素的离子半径比原子半径小

C. 碱金属离子的氧化性是 $Li^+<Na^+<K^+<Rb^+$

D. 碱金属单质的密度是 Li<Na<K<Rb

E. 熔点是 Cs<Rb<K<Na<Li

9. 碱金属元素随着核电荷数的增加

A. 氧化性增强　　B. 原子半径减小　　C. 失电子能力减弱

D. 还原性增强　　E. 熔点升高

10. 金属钠在空气中燃烧生成下列何种氧化物

A. NaO_2　　B. Na_2O　　C. Na_2O_2

D. Na_2O_3　　E. NaO_3

11. 下列何种气体不能被苛性钠溶液吸收

A. H_2S　　B. Cl_2　　C. H_2

D. CO_2　　E. SO_2

12. 实验室中熔化苛性钠，选用下列何种仪器

A. 石英坩埚　　B. 瓷坩埚　　C. 玻璃坩埚

D. 镍坩埚　　E. 蒸发皿

13. 下列碱金属碳酸盐中溶解度最小的是

A. 碳酸锂　　B. 碳酸钠　　C. 碳酸铷

D. 碳酸铯　　E. 碳酸钾

14. 如果锶和硫化合，产物的分子式最可能是

A. Sr_2S_3　　B. Sr_2S　　C. SrS

D. SrS_2　　E. Sr_3S_2

15. 钙在空气中燃烧的产物是

A. CaO　　B. CaO_2　　C. Ca_2O_3

D. CaO 及 Ca_3N_2　　E. CaO 及 CaO_2

16. 下列物质中热稳定性最小的是

A. $MgCO_3$　　B. $Mg(HCO_3)_2$　　C. $CaCO_3$

D. Na_2CO_3　　E. K_2CO_3

17. 将 CO_2 通入 $CaCl_2$ 溶液中，发生以下何种现象

A. 生成 $CaCO_3$ 沉淀

B. 首先生成 $CaCO_3$ 沉淀，随后由于生成 $Ca(HCO_3)_2$ 沉淀消失

C. 生成了 $Ca(OH)_2$

D. 不产生任何反应

E. 有红色溶液生成

18. 在野外加水能方便地制取氢气的物质是

A. CaC_2　　B. SiH_4　　C. CaH_2

D. PH_3　　E. CH_4

19. 下列热稳定性规律正确的是

A. $MgCO_3 > CaCO_3 > SrCO_3 > BaCO_3$

B. $MgCO_3 < CaCO_3 < SrCO_3 < BaCO_3$

C. $CaCO_3 < MgCO_3 < BaCO_3 < SrCO_3$

D. $SrCO_3 > BaCO_3 > MgCO_3 > CaCO_3$

E. $BaCO_3$ > $SrCO_3$ > $MgCO_3$ > $CaCO_3$

20. 下列元素中，哪种元素和铝在某些性质上相似

A. 硼　　B. 铬　　C. 铍

D. 锡　　E. 钙

21. 第 Ⅱ A 族元素的价电子构型为

A. $2s^12p^1$　　B. ns^1np^1　　C. ns^2

D. np^2　　E. 以上都不正确

22. 金属 Rb 与金属铯 K 相比较，K 的

A. 金属性较强　　B. 还原性较强　　C. 原子半径较大

D. 熔点较低　　E. 密度较小

23. $MgCl_2$ 溶液中加入 Na_2CO_3 生成产物的分子式是

A. $MgCO_3$　　B. $Mg(OH)_2$　　C. $Mg(HCO_3)_2$

D. $Mg(OH)_2$ 和 $MgCO_3$　　E. $Mg(HCO_3)_2$ 和 $MgCO_3$

24. 对于 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 的叙述，正确的是

A. 都是强酸弱碱盐　　B. 水溶液都显酸性　　C. 不能相互转化

D. 能组成缓冲溶液　　E. 都是弱酸弱碱盐

25. 下列化合物中，形成水垢的是

A. $Ca(HCO_3)_2$　　B. $NaHCO_3$　　C. $CaCO_3$

D. Na_2CO_3　　E. K_2CO_3

26. 在下列化学方程式中，不能只用离子方程式 $Ba^{2+}+SO_4^{2-}=BaSO_4\downarrow$ 来表示的是

A. $Ba(NO_3)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2HNO_3$

B. $BaCl_2 + Na_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2NaCl$

C. $Ba(OH)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2H_2O$

D. $BaCl_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2HCl$

E. $Ba(NO_3)_2 + Na_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2NaNO_3$

三、推断题

有四种钠的化合物 W、X、Y 和 Z，根据下列反应判断 W、X、Y 和 Z 的化学式分别为 W________；X________；Y________；Z________。

（1）$W \rightarrow X + CO_2\uparrow + H_2O$　　（2）$Z + CO_2 \rightarrow X + O_2$

（3）$Z + H_2O \rightarrow Y + O_2$　　（4）$X + Ca(OH)_2 \rightarrow Y + CaCO_3\downarrow$

【拓展习题】

1. 试根据碱金属和碱土金属得电子层构型说明它们化学活泼性得递变规律。

2. 试比较锂和钾，锂和镁的化学性质有哪些相似点和区别。

3. 金属钠是强还原剂，试写出它与下列物质得化学反应方程式：

H_2O, NH_3, C_2H_5OH, Na_2O_2, $NaOH$, $NaNO_2$, MgO, $TiCl_4$

4. 写出过氧化钠和下列物质的反应式：

$NaCrO_2$, CO_2, H_2O, H_2SO_4（稀）

5. 写出氢氧化钠和氢氧化钙的主要化学性质和用途。

6. 写出以食盐为原料制备金属钠、氢氧化钠、过氧化钠、碳酸钠的过程，并写出它们的化学反应方程式。

7. 碱土金属的熔点比碱金属的高，硬度比碱金属的大，试说明其原因。

8. 钙在空气中燃烧所得的产物和水反应放出大量得热，并能嗅到氨的气味。试以化学反应方程式表示这些反应。

9. 为什么元素铍与其他非金属成键时，化学键带有较大的共价性，而其他碱土元素与非金属所成的键则带有较大的离子性？

10. 利用镁和铍在性质上的哪些差异可以区分和分离 $Be(OH)_2$ 和 $Mg(OH)_2$，$BeCO_3$ 和 $MgCO_3$，BeF_2 和 MgF_2？

11. 写出重晶石为原料制备 $BaCl_2$，$BaCO_3$，BaO，BaO_2 的过程。

12. 写出 $BaCl_2$ 和 $CaCl_2$ 的水溶液分别加入碳酸铵，接着加入醋酸、再加入铬酸钾时的反应式。

（张　悦）

十二、p 区重要元素及其化合物

【学习要点】

通过与 s 区元素的对比学习，加深对元素周期性的系统学习，同时了解元素性质的多样性和特殊性体现。知识点有：

1. p 区元素概述　周期性、惰性电子对效应。

2. 元素性质　递变规律、离子鉴定。

【基础练习题】

一、填空题

1. 在无色碘化钾溶液中滴入淀粉溶液，溶液显______色，再滴加氯水，溶液显______色。

2. 现有三个失去标签的试剂瓶，分别盛着 NaCl，NaBr，KI 溶液，鉴别它们的两种实验方法分别是：①________，②________。

3. 能腐蚀玻璃而必须储藏在塑料试剂瓶中的卤化物是________。碘受热易升华，因此储存在________色瓶中及________处。

4. 硅元素在地壳中的含量占第________位，仅次于________，硅主要以________形式存在。

5. 碳族元素单质及其化合物中，重要的原子晶体有________、________、________，它们的原子间以________相结合。

6. 碳族元素单质及其化合物中都有________、________、________等相似的物理性质。

7. 如果将盛有水玻璃的试剂瓶，敞口放在空气中，可观察到的现象是________，变化的原因是________。

8. 硫酸钡常用于作胃肠透视时的内服对比剂，原因是硫酸钡________，________。

9. 磷的同素异形体常见的有________、________、________；其中最活泼的是________。

10. H_3PO_3 为________元酸，H_3PO_4 为________元酸，而 H_3PO_2 为________元酸。

11. 在砷、锑、铋的氧化物中，酸性最强的是________，碱性最强的是________。

12. 马氏试砷法中，把砷的化合物与锌和硫酸作用，产生分子为________的气体，气体受热，在玻璃管中出现________。

二、选择题

1. 第Ⅶ A 族元素的价电子构型为

A. $2s^22p^5$　　B. ns^1np^6　　C. ns^2np^5

D. ns^3np^4　　E. $2s^22p^4$

2. 下列化合物中，包含配位键的是

A. CH_4　　B. H_2S　　C. NH_4Cl

D. CO_2　　E. H_2O

3. 不能形成氢键的物质是

A. NH_3　　B. CH_4　　C. H_2O

D. HF　　E. C_2H_5OH

4. 不具有漂白作用的物质是

A. 次氯酸　　B. 双氧水　　C. 浓硫酸

D. 臭氧　　E. 二氧化硫

5. 下列分子中，属于极性分子的是

A. H_2　　B. F_2　　C. O_3

D. N_2　　E. O_2

6. 下列酸性最强的是

A. 硝酸　　B. 碳酸　　C. 浓硫酸

D. 高氯酸　　E. 盐酸

7. 下列物质的水溶液显碱性的是

A. Na_2SO_4　B. NaAc　C. KNO_3

D. NH_4Cl　E. KCl

8. 有关卤素氟、氯、溴、碘的单质共性，错误的描述是

A. 都可生成共价化合物　B. 都可作为氧化剂使用　C. 都可生成离子化合物

D. 都可溶于水放出氧气　E. 都可形成氧化数为 –1 的化合物

9. 下列各组物质中，可用来鉴别 Cl^-、Br^-、I^- 离子的是

A. 氯水，四氯化碳　B. 碘水，淀粉溶液　C. 溴水，无色汽油

D. 淀粉，碘化钾溶液　E. 碘水，四氯化碳

10. 卤素按氟、氯、溴、碘的顺序排列，其结构或性质的变化规律正确的是

A. 原子的最外层电子数依次增多

B. 原子半径依次增大

C. 各单质的化学活动性依次增强

D. 所生成的金属卤化物的稳定性依次增大

E. 各单质沸点依次降低

11. 下列酸性强弱顺序正确的是

A. $HClO>HClO_3>HClO_4$　B. $HClO>HClO_4>HClO_3$

C. $HClO_4>HClO>HClO_3$　D. $HClO_4>HClO_3>HClO$

E. $HClO_3>HClO_4>HClO$

12. 下列各卤化物中，阴、阳离子的电子层结构都跟氖原子相同的是

A. MgF_2　B. NaCl　C. NaBr

D. KI　E. KBr

13. 下列各种盐中溶解度最大的是

A. AgF　B. AgCl　C. AgBr

D. AgI　E. AgS

14. 实验室制备氯气时需要净化，下列溶液装在洗气瓶中，氯气按顺序通过，正确的洗气试剂和洗气方式是

A. 先 NaOH, 后 H_2SO_4　B. 先 H_2SO_4, 后 NaOH　C. 先 H_2O, 后 H_2SO_4

D. 先 H_2SO_4 后 H_2O　E. 先 HCl 后 H_2O

15. 下列说法中错误的是

A. 氯离子的电子层结构跟氩原子相同

B. 碘离子比碘原子多一个电子

C. 氯离子、溴离子和碘离子的最外层电子都是 8 个

D. 卤素的单质都为非极性分子

E. 卤化氢都是无色液体

16. 市场上出售的变色镜片，变色是由于在玻璃中加入以下何种成分所引起的

A. 卤化银　　B. 钨酸　　C. 硫化锌

D. 氟化钾　　E. 氯化钙

17. 卤素相互间形成的化合物 AX_3 中的 ClF_3 是最活泼的，但是液态 BrF_3 有较高的导电性，这是由于

A. BrF_3 的分子量大

B. ClF_3 较易挥发

C. BrF_3 比较容易离解成 BrF_2^+ 和 BrF_4^-

D. 导电性与浓度无关

E. BrF_3 溶解度比较大

18. 从海水中提取溴时，海水的酸碱性必须控制在以下哪个范围

A. 酸性　　B. 碱性　　C. 中性

D. 微碱性　　E. 强碱性

19. 欲从 NaI 加酸制备纯的 HI，应加下列何种酸

A. 浓 H_2SO_4　　B. 浓 HCl　　C. CH_3COOH

D. H_3PO_4　　E. 浓 HNO_3

20. 下列哪种试剂能将 I^- 和 IO_3^- 反应生成 I_2

A. C_6H_6　　B. H_2O　　C. NaOH

D. $Ca(OH)_2$　　E. 以上条件都不行

21. 往碘化物溶液中加入氯水和四氯化碳，并振荡之，产生的颜色是

A. 棕色　　B. 绿色　　C. 紫色

D. 橙色　　E. 红色

22. 下列哪种分子的偶极矩最大

A. HF　　B. HI　　C. HCl

D. HBr　　E. H_2S

23. 将碘溶液加到硫酸亚铁溶液中，可能会生成的产物是

A. I^- 和 Fe^{3+}　　B. IO_3^- 和 Fe^{3+}　　C. 不反应

D. Fe 和 IO^-　　E. I^- 和 Fe^{2+}

24. 使用氢氟酸时，下列哪种操作是不正确的

A. 操作应在通风橱中进行　　B. 用量筒称取氢氟酸，倒入烧杯中

C. 操作时应戴上橡皮手套　　D. 使用时应采用塑料器皿

E. 使用时应采用铂制器皿

25. 在某溶液中，加入氯化钡溶液后，产生白色沉淀，再加稀硝酸沉淀不消失，则在溶液中

A. 一定含有 SO_4^{2-}　　B. 一定含有 Ag^+　　C. 一定同时含有 SO_4^{2-} 和 Ag^+

D. 一定含有 SO_4^{2-} 或 Ag^+　　E. 一定含有 NO_3^-

26. 一种钠盐可溶于水，该盐溶液加入稀 HCl 溶液后，有刺激性气体产生，同时有黄色沉淀生成。该盐是

A. Na_2S　　B. Na_2CO_3　　C. Na_2SO_3

D. $Na_2S_2O_3$　　E. Na_2SO_4

27. 酸性溶液中，$FeCl_3$ 与 H_2S 反应的产物是

A. Fe_2S_3　　B. FeS 和 S　　C. FeS_2 和 S

D. $FeCl_2$ 和 S　　E. Fe_2S_3 和 S

28. 下列硫化物哪种难溶于水而易溶于稀酸

A. HgS　　B. ZnS　　C. Na_2S

D. Bi_2S_3　　E. K_2S

29. 实验室配制 $SnCl_2$，$SbCl_3$，$BiCl_3$ 等溶液必须先用少量盐酸溶解才能配成澄清溶液，原因是

A. 防止同离子效应　　B. 防止盐效应　　C. 防止缓冲作用

D. 防止水解　　E. 防止氧化

30. 氨氧化制硝酸的反应如下：

$NH_3+O_2 \rightarrow NO+H_2O$　　$NO+O_2 \rightarrow NO_2$　　$NO_2+H_2O \rightarrow HNO_3+NO$

如将氨全部氧化得 2mol 硝酸，下列哪个值是理论上需氧的摩尔数

A. 2　　B. 3　　C. 4　　D. 5　　E. 6

31. 下列各酸中，哪种属于二元酸

A. H_3PO_3　　B. H_3PO_2　　C. H_3PO_4

D. $H_4P_2O_7$　　E. HPO_3

32. P_4O_{10} 溶于水得 H_3PO_4，1mol P_4O_{10} 溶解得 H_3PO_4 需水的摩尔数是

A. 2　　B. 4　　C. 3　　D. 6　　E. 1

33. 下列哪种物质的沸点最低

A. AsH_3　　B. PH_3　　C. NH_3

D. SbH_3　　E. H_2O

34. 酸性溶液中亚硝酸盐和碘化钾作用，产物之一是

A. NO　　B. NO_3^-　　C. NO_2

D. N_2　　E. NH_3

35. 每摩尔 P_4O_{10} 与足量的氨反应，最多可消耗氨的物质的量为

A. 6mol　　B. 8mol　　C. 10mol

D. 12mol　　E. 14mol

36. 下列说法正确的是

A. 二氧化硅溶于水显酸性

B. 二氧化碳通入水玻璃可得原硅酸

C. 因为高温时二氧化硅与碳酸钠反应放出二氧化碳，所以硅酸酸性比碳酸强

D. 二氧化硅是酸性氧化物不溶于任何酸

E. 二氧化硅是碱性氧化物不溶于任何碱

37. 二氧化硅的熔沸点较高的原因是

A. 二氧化硅中，硅氧原子个数之比为 1∶2

B. 二氧化硅晶体是立体网状的原子晶体

C. 二氧化硅中，Si—O 键的键能大

D. 二氧化硅晶体中原子以共价键相结合

E. 二氧化硅不溶于水

38. 在 H_2O_2 水溶液中，加入少量 MnO_2 固体时，发生以下何种反应

A. H_2O_2 被氧化　　B. H_2O_2 分解　　C. H_2O_2 被还原

D. 复分解反应　　E. 化合反应

39.Al 和 NaOH 水溶液反应中，氧化剂与还原剂的物质量之比为

A. 1∶1　　B. 2∶1　　C. 3∶1

D. 4∶1　　E. 2∶3

40. 欲迅速除去铝壶底部的水垢又不损坏铝壶的最好的方法是

A. 加浓盐酸　　B. 加热的浓硫酸　　C. 加稀硝酸

D. 加稀盐酸　　E. 加冷的浓硝酸

41. 在下列氧化物中，哪一种具有最强氧化性

A. SiO_2　　B. GeO_2　　C. SnO_2

D. PbO_2　　E. CO_2

42. 干燥 NH_3 气体可选择的干燥剂是

A. 浓 H_2SO_4　　B. $CaCl_2$　　C. P_2O_5

D. CaO　　E. 浓 HNO_3

43. 混合前后各种离子数目不变化的一组物质是

A. 硝酸银，碳酸氢根离子，氢离子，钠离子

B. 氢离子，硫酸根离子，氢氧根离子，钠离子

C. 氯离子，钾离子，钠离子，碘离子

D. 铵根离子，氢氧根离子，钾离子，钠离子

E. 硝酸银，硫酸根离子，铵根离子，碘离子

44. 下列同体积，同物质的量浓度的溶液相混合，反应后溶液的 pH 约等于 7 的是

A. 盐酸和碳酸钠　　B. 醋酸和碳酸氢钠　　C. 氢氧化钠和盐酸

D. 氨水和硝酸　　E. 醋酸和碳酸钠

45. 下列离子既能水解又能电离的是

A. NO_3^-　　B. NH_4^+　　C. HCO_3^-

D. $HCOO^-$　　E. CO_3^{2-}

46.PbO_2 和 HCl 的反应产物是

A. $PbCl_4+H_2O$　　B. $PbCl_2+Cl_2+H_2O$　　C. $PbCl_2+H_2O$

D. $PbCl_2+HClO$　　E. $PbCl_4+HClO$

47. 下列盐的水溶液 pH 小于 7 的是

A. 氯化钠　　B. 氯化铵　　C. 硫酸钾

D. 醋酸钠　　E. 氯化钾

三、推断题

一种无色的钠盐晶体 A，易溶于水，向所得的水溶液中加入稀 HCl，有淡黄色沉淀 B 析出，同时放出刺激性气体 C，C 通入 $KMnO_4$ 酸性溶液，可使其褪色；C 通入 H_2S 溶液又生成 B，若通氯气于 A 溶液中，再加入 Ba^{2+} 则产生不溶于酸的白色沉淀 D。试根据以上反应的现象推断 A，B，C，D 各是何物？写出有关反应式。

【拓展习题】

一、配平方程式

1. $H_2S+H_2O_2 \longrightarrow$

2. $H_2S+Br_2 \longrightarrow$

3. $H_2S+I_2 \longrightarrow$

4. $H_2S+O_2 \longrightarrow$

5. $H_2S+ClO_3^-+H^+ \longrightarrow$

6. $Na_2S+Na_2SO_3+H^+ \longrightarrow$

7. $Na_2S_2O_3+I_2 \longrightarrow$

8. $Na_2S_2O_3+Cl_2 \longrightarrow$

9. $SO_2+H_2O+Cl_2 \longrightarrow$

10. $H_2O_2+KMnO_4+H^+ \longrightarrow$

11. $Na_2O_2+CO_2 \longrightarrow$
12. $KO_2+H_2O \longrightarrow$
13. $Fe(OH)_2+O_2+OH^- \longrightarrow$
14. $K_2S_2O_8+Mn^{2+}+H^++NO_3^- \longrightarrow$
15. $H_2SeO_3+H_2O_2 \longrightarrow$

二、简答与计算

1. 试用分子轨道理论描述下列各物种中的键、键级和磁性（顺磁性、逆磁性）和相对稳定性。
 （1）O_2^+（二氧基阳离子）
 （2）O_2
 （3）O_2^-（超氧离子）
 （4）O_2^{2-}（过氧离子）
2. 重水和重氧水有何差别？写出它们的分子式。它们有何用途？如何制备？
3. 解释为什么 O_2 分子具有顺磁性，O_3 具有反磁性？
4. 在实验室怎样制备 O_3？它有什么重要性？
5. 油画放置久后为什么会发暗、发黑？为什么可用 H_2O_2 来处理？写出反应方程式。
6. 比较氧族元素和卤族元素氢化物在酸性、还原性、热稳定性方面的递变性规律。
7. 比较硫和氮的含氧酸在酸性、氧化性、热稳定性等方面的递变规律。
8. 利用电极电势解释在 H_2O_2 中加入少量 Mn^{2+}，可以促进 H_2O_2 分解反应的原因。

（杨　梅）

十三、d 区重要元素及其化合物

【学习要点】

通过与 d 区元素的对比学习，加深对元素周期性的系统学习，同时了解元素性质的多样性和特殊性体现。知识点有：

1. d 区元素概述　周期性、惰性电子对效应。

2. 元素性质　递变规律、离子鉴定。

【基础练习题】

一、填空题

1. 在配制 $FeSO_4$ 溶液时，常向溶液中加入一些________和________，其目的是________。
2. d 区元素的价电子层结构的特点通式是________，它们的通性主要有__________、________、________和________。

3. 在地壳中储量居前十位的元素中属于过渡金属的有________和________。

二、选择题

1. 关于 d 区元素，下列说法不正确的是

A. 钨是所有多金属中最难熔化的

B. 各族元素的活泼性都是从上到下减弱

C. 同一元素低氧化态氧化物的碱性大于其高氧化态氧化物

D. 同一族元素从上到下相同氧化态氧化物的酸性增强

E. 同一周期元素，随着原子序数的增加，原子半径依次减小

2. $CrCl_3$ 溶液与下列物质作用时，既产生沉淀又生成气体的是

A. Na_2S　　B. $BaCl_2$　　C. H_2O_2

D. $AgNO_3$　　E. NaOH

3. 下列溶液可与 MnO_2 作用的是

A. 稀 HCl　　B. 稀 H_2SO_4　　C. 浓 H_2SO_4

D. 浓 NaOH　　E. 稀 NaOH

4. 下列离子方程式正确的是

A. 稀硫酸滴在铜片上：$Cu + 2H^+ = Cu^{2+} + H_2\uparrow$

B. 碳酸氢钠溶液与盐酸混合：$HCO_3^- + H^+ = CO_2\uparrow + H_2O$

C. 盐酸滴在石灰石上：$CaCO_3 + H^+ = Ca^{2+} + H_2CO_3$

D. 硫酸铜溶液与硫化钾溶液混合：$CuSO_4 + S^{2-} = CuS\downarrow + SO_4^{2-}$

E. 澄清石灰水中通入二氧化碳：$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3\downarrow$

5. 下列哪一组试剂可以从锶离子中分离出钡离子

A. Na_2CO_3 和 HCl

B. $K_2[Fe(CN)_6]$ 和 NH_4NO_3

C. K_2CrO_4 和 CH_3COOH

D. H_2S 和 HCl

E. NaOH 和 HCl

6. $KMnO_4$ 溶液常存放在棕色瓶中是因为它

A. 不稳定，易发生歧化反应

B. 光照下会慢慢分解成 MnO_2 和 O_2

C. 光照下与空气中的 O_2 反应

D. 光照下迅速反应生成 K_2MnO_4 和 O_2

E. 光照下与空气中的 CO_2 反应

7. 下列物质最不易被空气中的 O_2 所氧化的是

A. $MnSO_4$　　B. $Ni(OH)_2$　　C. $Fe(OH)_2$

D. $[Co(NH_3)_6]^{2+}$　　E. $Co(OH)_2$

8. 下列化合物溶于浓 HCl 的反应，不仅仅是酸碱反应的是

A. Fe_2O_3　　B. $Co(OH)_3$　　C. $Cr(OH)_3$

D. Al_2O_3　　E. CaO

9. 下列离子能与 I^- 发生氧化还原反应的是

A. Zn^{2+}　　B. Hg^{2+}　　C. Cu^{2+}

D. Ag^+　　E. Ca^{2+}

10. 难溶于水的白色硫化物是

A. CaS　　B. ZnS　　C. CdS

D. HgS　　E. FeS

11. 下列硫化物不能溶于 HNO_3 的是

A. ZnS　　B. CuS　　C. CdS

D. HgS　　E. Fe_2S_3

12. 今有五种硝酸盐溶液：$Cu(NO_3)_2$，$AgNO_3$，$Hg(NO_3)_2$，$Hg_2(NO_3)_2$ 和 $Cd(NO_3)_2$，往这些溶液中分别滴加下列哪一种试剂即可将它们区别开来

A. H_2SO_4　　B. HNO_3　　C. HCl

D. 氨水　　E. H_3PO_4

13. 下列化合物中与浓盐酸作用没有氯气放出的是

A. Pb_2O_3　　B. Fe_2O_3　　C. Co_2O_3

D. Ni_2O_3　　E. MnO_2

14. 下列新制出的沉淀在空气中放置，颜色不发生变化的是

A. $Mg(OH)_2$　　B. $Fe(OH)_2$　　C. $Co(OH)_2$

D. $Ni(OH)_2$　　E. $Mn(OH)_2$

15. 向 $FeCl_3$ 溶液中加入氨水生成的产物之一是

A. $Fe(NH)_6^{3-}$　　B. $Fe(OH)Cl_2$　　C. $Fe(OH)_2Cl$

D. $Fe(OH)_2$　　E. $Fe(OH)_3$

16. 在酸性介质中，欲使 Mn^{2+} 氧化为 MnO_4^-，采用的氧化剂应为

A. H_2O_2　　B. 王水　　C. $K_2Cr_2O_7$+ H_2SO_4

D. $NaBiO_3$　　E. 浓 HCl

17. 下列各组元素中最难分离的是

A. Li 和 Na　　B. K 和 Ca　　C. Cu 和 Zn

D. Zr 和 Hf　　E. Mg 和 Ca

18. 由 Cr_2O_3 出发制备铬酸盐应选用的试剂是

A. 浓 HNO_3　　B. KOH（s）和 $KClO_3$（s）　　C. Cl_2

D. H_2O_2　　E. 浓 HCl

19. 用来检验 Fe^{3+} 离子的试剂为

A. KI　　B. NH_4SCN　　C. NaOH

D. $NH_3 \cdot H_2O$　　E. H_2SO_4

20. 欲除去 $FeCl_3$ 中含有的少量杂质 $FeCl_2$，应加入的物质是

A. Cl_2　　B. $KMnO_4$　　C. HNO_3

D. $K_2Cr_2O_7$　　E. H_2SO_4

21. Fe_3O_4 与盐酸作用的产物为

A. $FeCl_3+H_2O$　　B. $FeCl_2+H_2O$　　C. $FeCl_3+FeCl_2+H_2O$

D. $FeCl_3+Cl_2$　　E. $FeCl_3+FeCl_2$

22. 欲制备 Fe^{2+} 的标准溶液，应选择的最合适的试剂是

A. $FeCl_2$ 溶于水　　B. 硫酸亚铁铵溶于水　　C. $FeCl_3$ 溶液中加铁屑

D. 铁屑溶于盐酸　　E. 铁屑溶于硝酸

三、推断题

1. $CuCl_2$、AgCl、Hg_2Cl_2 都是难溶于水的白色粉末，试区别这三种金属氯化物。

2. 根据所述实验现象，写出相应的化学反应方程式：

往 KCr_2O_7 溶液中加入 $BaCl_2$ 溶液时有黄色沉淀产生，将该沉淀溶解在浓盐酸溶液中时得到一种绿色溶液。

3. 铬的某化合物 A 是橙红色溶于水的固体，将 A 用浓盐酸处理产生黄绿色刺激性气体 B 和生成暗绿色溶液 C。在 C 中加入 KOH 溶液先生成蓝色沉淀 D，继续加入过量 KOH 溶液则沉淀消失，变成绿色溶液 E。在 E 中加入 H_2O_2 加热则生成黄色溶液 F，F 用稀酸酸化，又变为原来的化合物 A 的溶液。问 A、B、C、D、E、F 各是什么物质，写出每步变化的反应方程式。

4. 向一含有三种阴离子的混合溶液中滴加 $AgNO_3$ 溶液至不再有沉淀生成为止。过滤，当用稀硝酸处理沉淀时，砖红色沉淀溶解得到橙红色溶液，但仍有白色沉淀。滤液呈紫色，用硫酸酸化后，加入 Na_2SO_3，则紫色逐渐消失。指出上述溶液中含哪三种阴离子，并写出有关反应方程式。

【拓展习题】

一、完成反应式

1. 完成并配平下列反应方程式

（1）$Ti + HF \longrightarrow$

（2）$TiO_2 + H_2SO_4 \longrightarrow$

（3）$TiCl_4 + H_2O \longrightarrow$

（4）$FeTiO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow$

（5）$TiO_2 + BaCO_3 \longrightarrow$

（6）$TiO_2 + C + Cl_2 \longrightarrow$

2. 完成下列反应

（1）TiI_4 在真空中强热。

（2）$FeTiO_3$ 和碳得混合物在氯气中加热。

（3）向含有 TiCl 得水溶液加入过量得氨。

3. 完成并配平下列反应方程式

（1）$V_2O_5 + NaOH \longrightarrow$

（2）$V_2O_5 + HCl \longrightarrow$

（3）$VO_4^{3-} + H^+$（过量）$\longrightarrow$

（4）$VO_2^+ + Fe^{2+} + H^+ \longrightarrow$

（5）$VO_2^+ + H_2C_2O_4 + H^+ \longrightarrow$

二、简答与计算

1. 钛的主要矿物是什么？简述从钛铁矿制取钛白的反应原理。

2. 解释 $TiCl_3$ 和 $[Ti(O_2)OH(H_2O)_4]^+$ 有色的原因。

3. 根据下列实验写出有关的反应方程式：将一瓶 $TiCl_4$ 打开瓶塞时立即冒白烟。向瓶中加入浓 HCl 溶液和金属锌时生成紫色溶液，缓慢地加入 NaOH 溶液直至溶液呈碱性，于是出现紫色沉淀。沉淀过滤后，先用 HNO_3 处理，然后用稀碱溶液处理，生成白色沉淀。

4. 利用标准电极电势数据判断 H_2S，SO_2，$SnCl_2$ 和金属 Al 能否把 TiO^{2+} 离子还原成 Ti^{3+} 离子？

5. 概述下列合成反应的步骤：

（1）由 $MnSO_4$ 制备 $K_5Mn(CN)_6$。

（2）由 MnO_2 制备 $K_3Mn(CN)_6$。

（3）由 MnS 制备 $KMnO_4$。

（4）由 $MnCO_3$ 制备 K_2MnO_4。

（5）由 $BaMnO_4$ 制备金属锰。

6. 钒酸根离子在水溶液中的组成取决于哪些因素？这些因素怎样影响平衡 $VO_4^{3-} \rightleftharpoons V_2O_7^{4-}$ （$V_3O_9^{3-}$，$V_{10}O_{28}^{6-}$ 等）。

7. 新生成的氢氧化物沉淀为什么会发生下列变化

（1）$Mn(OH)_2$ 几乎是白色的，在空气中变为暗褐色？

（2）白色的 $Hg(OH)_2$ 立即变为黄色？

（3）蓝色的 $Cu(OH)_2$，加热时为什么变黑？

8. 若 Cr^{3+} 离子和 Al^{3+} 共存时，怎样分离它们？ Zn^{2+} 离子也共存时，怎样分离？

9. 在含有 Cl^- 和 CrO_4^{2-} 离子的混合溶液中逐滴加入 $AgNO_3$ 溶液，若 $[Cl^-]$ 及 $[CrO_4^{2-}]$ 均为 10^{-3}mol/L, 那么谁先沉淀？两者能否基本分离出来。

10. 根据 $2CrO_4^{2-}+2H^+ \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-}+H_2O \quad K=10^{14}$ 试求在 1mol/L 铬酸钾溶液中，pH 是多少时

（1）铬酸根离子和重铬酸根离子浓度相等。

（2）铬酸根离子的浓度占 99%。

（3）重铬酸根离子的浓度占 99%。

11. 为了从溶解有 20g 六水合氯化铬（Ⅲ）的水溶液重快速沉淀出氯，需要 75ml 2mol/L 的硝酸银溶液，请根据这些数据写出六水合氯化铬（Ⅲ）的配位式（结构式）。

12. 写出从钨锰铁矿制备金属钨粉的整个反应过程。

13. 利用标准电极电势，判断下列反应的方向：

$$6MnO_4^- + 10Cr^{3+} + 11H_2O = 5Cr_2O_7^{2-} + 6Mn^{2+} + 22H^+$$

14. 试求下列反应的平衡常数，并估计反应是否可逆

$$MnO_4^- + 5Fe^{2+} + 8H^+ = Mn^{2+} + 5Fe^{3+} + 4H_2O$$

15. 用二氧化锰做原料，怎样制备？

（1）硫酸锰。

（2）锰酸钾。

（3）高锰酸钾。

16. 根据下列电势图

$$MnO_4^- \xrightarrow{+1.69} MnO_2 \xrightarrow{+1.23} Mn^{2+}$$

$$IO_3^- \xrightarrow{+1.19} I_2 \xrightarrow{+0.535} I^-$$

写出当溶液的 pH=0 时，在下列条件下，高锰酸钾和碘化钾反应的方程式：

（1）碘化钾过量。

（2）高锰酸钾过量。

17. 称取 10.00g 含铬和锰的刚样，经适当处理后，铬和锰被氧化为 $Cr_2O_7^{2-}$ 和 MnO_4^- 的溶液，共 250.0cm^3。精确量取上述溶液 10.00cm^3，加入 $BaCl_2$ 溶液并调节酸度使铬全部沉淀下来，得到 0.0549g $BaCrO_4$。另取一份上述溶液 10.00cm^3，在酸性介质中用 Fe^{2+} 溶液（0.075mol/L）滴定，用去 15.95cm^3。计算刚样铬和锰的质量分数。

（杨联敏）

参考答案

一、绪论

【单项选择题】

一、填空题

1. 无机物质
2. 拉瓦锡　元素
3. 原子　元素之间化合的最小单位
4. 分子　原子
5. 门捷列夫　元素周期
6. 28　0.01%　0.01%
7. 甲状腺肿大　骨骼疏松
8. H_2O　C　N　O
9. $NaHCO_3$
10. NH_4Cl
11. $BaSO_4$
12. NaCl

二、判断题

1. √　2. √　3. ×　4. √　5. ×

三、选择题

1. A　2. B　3. D　4. C　5. D　6. C　7. D　8. A　9. E　10. A　11. C　12. C

四、名词解释

研究无机物质的组成、结构、性质及其变化规律的自然科学。

二、原子结构

【基础练习题】

一、填空题

1. 原子核　核外电子　原子核　电子
2. 质子数　核电荷数　核外电子数
3. 质子数　中子数
4. 质子数　中子数

5. 化学性质

6. 小　近　大　远

7. n　l　m　m_s（或主量子数　副量子数　磁量子数　自旋量子数）

8. 电子层数

9. 球形　哑铃形

10. $n-1$

11. l

12. 1　3　5　7

13. 1　3　5　7

14. $2l+1$　n^2　$2n^2$

15. $3s$　$3p$　$3d$

16. 保里不相容原理　能量最低原理　洪特规则

17. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

18. 电子数为 2　第 3 电子层　p 轨道

19. 保里不相容

20. 能量最低

21. 洪特规则

22. 原子核外电子排布呈周期性变化

23. 非金属　金属

24. 金属　非金属

25. 2.0　2.0

26. 吸引电子

27. 7　16　7　7

28. s　p　d　f

29. ns^{1-2}　ns^2np^{1-6}　$(n-1)d^{1-10}ns^{1-2}$

30. 得到电子　失去电子

31. 失去电子　得到电子

32. 3　ⅦA　p　Cl

二、选择题

1. D　2. D　3. B　4. D　5. A　6. A　7. C　8. D　9. C　10. C　11. A　12. D　13. B　14. B　15. C

三、判断题

1. √　2. ×

四、名词解释

1. 原子核内具有相同质子数和不同中子数的原子互称。
2. 具有一定形状和伸展方向的电子云所占据的空间。
3. 元素性质随着原子序数递增呈周期性变化的规律。
4. 原子在分子中吸引电子的能力。

五、推断题

（1）$3d^24s^2$；（2）Ti；（3）第 4 周期第ⅣB 族。

【拓展习题】

一、填空题

1. 4　1　3　6
2. 3p　3　3,1,0, 1/2 或 3,1,+1,1/2 或 3,1,−1,1/2；　15　P
3. m　n、l
4. Cr　Mn　Cr
5. p　5　ⅥA　52
6. $3d^54s^2$　5　Mn
7. Fr　F
8. 核外电子空间运动状态　原子轨道　电子在核外空间出现的机率密度　波函数 $|\psi|^2$
9. $1s^22s^22p^63s^23p3d^{10}4s^24p^3$　p 区

n=	4	4	4	4	4
l=	0	0	1	1	1
m=	0	0	0	1	−1
m_s	+1/2	−1/2	+1/2	+1/2	+1/2

二、选择题

1.A　2.D　3.D　4.C　5.D　6.E　7.D　8.C　9.B　10.E　11.C　12.C　13.B　14.D
15.A　16.B　17.D　18.E　19.A　20.B

三、判断题

1. ×　2. ×　3. ×　4. ×　5. √　6. √　7. √　8. ×　9. ×　10. ×　11. ×
12. ×　13. √

四、问答题

1. 解：合理的：（1），（3），（4）

不合理的：（2）$l = n$ 不合理。

（5）$|m| >1$ 不合理。

（6）$l > n$ 不合理。

2. 解：正确的电子层电子排列如下：

元素	K	L	M	N	O	P
19	2	8	8	1		
22	2	8	8	4		
30	2	8	18	2		
33	2	8	18	5		
60	2	8	18	22	8	2

19 号元素最外层排列 9 个电子，原子最外层最多只能排列 8 个电子。

22 号元素 L 层排列 10 个电子，L 层只有 2s 和 2p 等 4 个轨道，最多容纳 8 个电子。

30 号元素的排列是正确的。

33 号元素的次外层排列 22 个电子是错的，原子的次外层最多只能排列 18 个电子。

60 号元素的 O 层不能排列 12 个电子，因为它的 N 层 4f 亚层能量较 5d 亚层低，电子应先填充 4f 电子。

3. 解：（1）M 原子的核外电子排布：$[Ar]3d^5 4s^2$。

（2）M 原子的最外层电子数是 2（$4s^2$），最高能级组中电子数是 7（$4s^2 3d^5 4p^0$）。

（3）M 元素在周期表中的位置：第四周期第Ⅶ B 族。

4. 答：（1）违背了 Pauli 不相容原理，应为 $_6C$　$1s^2\ 2s^2 2p^2$。

（2）违背了能量最低原理及 Hund 规则，应为 $_{13}Al$　$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$。

（3）违背了 Hund 规则，应为 $_{15}P$　$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3px^1 3py^1\ 3pz^1$。

5. 解：A 为 Ca，B 为 Mn，C 为 Br，D 为 O，电负性大小：O > Br > Mn > Ca。

三、分子结构

【基础练习题】

一、填空题

1. 离子键　共价键　金属键
2. 无方向性　无饱和性
3. 离子
4. 离子键
5. 电负性　1.7
6. 共价键
7. 共价键
8. 共价键

9. 方向性　饱和性

10. 非极性键　极性键

11. 电负性

12. 没有方向性和饱和性

13. σ　π

14. σ 键

15. π 键

16. 键能　稳定

17. sp　直线形

18. sp^2　平面三角形

19. sp^3　正四面体

20. 诱导力　取向力　色散力

21. 色散力

22. 色散力　诱导力

23. 色散力　诱导力　取向力

二、选择题

1. D　2. D　3. C　4. B　5. A　6. B　7. B　8. D　9. C　10. B　11. D　12. A　13. C　14. B　15. B　16. A　17. A　18. D

三、判断题

1. √　2. ×　3. √　4. ×　5. ×

四、名词解释

1. 分子中相邻原子间强烈的相互作用。

2. 阴阳离子间通过静电作用形成的化学键。

3. 原子间通过共用电子对所形成的化学键。

【拓展习题】

一、填空题

1. $1s^22s^22p^4$　sp^3 不等性　V 形　取向力　诱导力　色散力　极性　大　较小　高

2. 具有规则的外形　具有各向异性　具有固定的熔点

3. 离子晶体　原子晶体　分子晶体　金属晶体

4. 正离子　负离子　离子键

5. $SiC > SiBr_4 > SiCl_4 > SiF_4$

6. sp^3 不等性杂化　sp 杂化

7. $H_2O > HCl > HBr > CO > N_2$

8. 8　6

9. 深　Hg^{2+} 与 S^{2-} 间相互极化作用强使颜色加深

10. 电负性　偶极矩

二、选择题

1. B　2. B　3.C　4.D　5.C　6.C　7.C　8.A　9.A　10.A　11.B　12.D　13.C　14.A　15.A　16.D　17.C　18.A　19.C　20.B

三、判断题

1. √　2. ×　3. ×　4. ×　5. ×　6. ×　7. ×　8. ×　9. ×　10. ×　11. ×　12. ×　13. √　14. ×　15. √

四、问答题

1. 答：

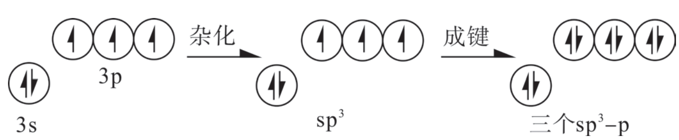
分子	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	H_3COH	CH_2O
杂化轨道	sp^3	sp	sp^2	sp^3 不等性	sp^2 不等性

2. 答：含有成单电子的原子轨道发生最大重叠才可以形成稳定的共价键。原子轨道最大重叠有两个条件，即对称性匹配和重叠方向合适。对称性匹配是指：原子轨道重叠时只有符号相同的部分叠加，电子云密度才增加，体系能量才降低；如符号相反，重叠部分电子云密度减小，体系能量将升高。因此只有原子轨道同号部分相叠加才能形成稳定的共价键。而重叠方向合适，是指只要按一定的重叠方向，原子轨道才能达到最大程度的重叠。

σ 键与 π 键的区别：原子轨道重叠部分对称性不同，σ 键中重叠部分沿键轴呈圆柱形对称，而 π 键中重叠部分对键轴平面呈镜面反对称；原子轨道重叠程度不同，

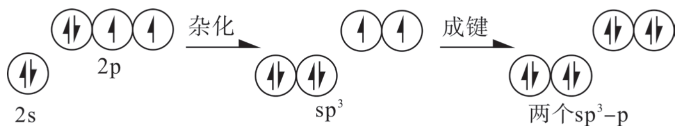
σ 键中原子轨道以“头碰头”的形式重叠，所以重叠程度较大，而 π 键中原子轨道以“肩并肩”方式重叠，重叠程度较小；键能不同，σ 键键能大、稳定性高，π 键键能小、稳定性较低、化学活性高。

3. 答：PCl_3：中心原子 P 价层电子构型为 $3s^23p^3$，价层有三个单电子，PCl_3 有三个配体，中心原子采取 sp^3 杂化，PCl_3 成键过程为：



有一对孤对电子占有杂化轨道，分子为三角锥形。

H_2O：中心原子 O 价层电子构型为 $2s^22p^4$，有两个成单电子，H_2O 中有两个配体，中心原子采取 sp^3 杂化，其中两个杂化轨道被两对孤对电子占用。H_2O 成键过程：



由于中心原子 O 上有两对孤对电子，分子呈 V 形。

4. 答：18 电子构型的阳离子容易变形，易引起相互极化作用；对 18 电子构型的阳离子化合物，阴离子的变形性越大，相互极化作用越强。故有相互极化作用强弱顺序：$HgF_2 < HgCl_2 < HgBr_2 < HgI_2$ 颜色依次渐深；水溶性依次减弱；热稳性依次降低。

5. 答：SO_2、CH_2Cl_2、PCl_3、$BrCl_3$ 为极性分子；BF_3、CO_2 为非极性分子。

6. 答：（1）错。分子是否有极性不只是由化学键的极性来决定的，若极性共价键的偶极互相抵消，即分子的正电荷中心和负电荷中心都在分子中心，二者互相重合，则分子是非极性的。如 CCl_4，虽然 C—Cl 键为极性键，由于分子是对称的，4 个 C—Cl 的偶极互相抵消，分子为非极性的，分子的偶极矩为零。

（2）错。极性分子中可能含有非极性共价键，如 H_2O_2 为极性分子，但分子中的过氧键的二个氧间形成的是非共价键。

（3）错。许多离子晶体中的阴离子为复杂阴离子，复杂阴离子与阳离子间虽然是靠离子键结合，但复杂阴离子内部的原子间可能含有极性共价键。如 NaOH 等，在 NaOH 晶体中，Na^+ 与 OH^- 以离子键结合，阴离子中 O—H 间为共价键。

（4）错。色散力是瞬间偶极之间的相互作用力。对于任何分子，不管是极性分子还是非极性分子，电子相对于核的运动和原子核的振动一直在进行，瞬间偶极存在于一切分子中。所以说，色散力存在于一切分子之间，不只存在于非极性分子之间，如 HCl 分子间除取向力、诱导力外，还存在色散力，而且以色散力为主。对于大多数分子而言，均以色散力为主。

（5）错。化合物在水中的溶解度大小不只是由阳离子极化能力大小决定的，而与许多因素有关，如阴离子的变形性、阳离子和阴离子的半径比值等许多因素有关。如 HI 中，I^- 变形性很大，但在水中的溶解度却很大；AgCl 中，Cl^- 变形能力不如 I^-，但 AgCl 溶解度却很小。

（6）错。氢键的形成需要满足两个条件：①分子中必须有一个电负性大的原子与氢原子形成强极性键。②必须有另一个电负性大、原子半径小、带有孤对电子并带有较多负电荷的原子（如 F、O、N 等），以便与带有较多正电荷的氢原子形成氢键。如在 HBr、HI、H_2S、PH_3、CH_4、BH_3 等共价氢化物中没有氢键存在。

四、溶液

【基础练习题】

一、填空题

1. 离子或分子分散系　胶体分散系　粗分散系
2. 稀释前后溶质的量不变
3. 蒸气压下降　沸点上升　凝固点降低　产生渗透压
4. 存在半透膜　存在浓度差
5. 280~320
6. 从稀溶液（低渗）到浓溶液（高渗）
7. 等渗溶液
8. 溶血　皱缩　9g/L
9. 离子或分子分散系　胶体分散系　粗分散系
10. 不能　不能
11. 能　能
12. 能　不能
13. 生理盐水　12.5g/L $NaHCO_3$　50g/L 葡萄糖
14. 晶体　胶体
15. 物质的量浓度 c_B　质量浓度 ρ_B　质量分数 ω_B，体积分数 φ_B　摩尔分数 χ_B　质量摩尔浓度 b_B
16. 9g/L　75%

二、选择题

1.A　2.E　3.A　4.C　5.B　6.D　7.C　8.D　9.A　10.C　11.A　12.C　13.B　14.A　15.C　16.C　17.C　18.B　19.C　20.C　21.A　22.B　23.C　24.D　25.A　26.D

三、判断题

1. √　2. √　3. √　4. √

四、简答与计算

1.（1）红细胞置于高渗溶液如 15g/L NaCl 中，红细胞内液渗透浓度低于细胞外高渗溶液，膜内水分子主要流向膜外高渗溶液，引起红细胞皱缩，将产生“栓塞”现象。

（2）红细胞置于低渗溶液如 5g/L NaCl 中，红细胞内液渗透浓度高于细胞外低渗溶液，膜外低渗溶液水分子主要流向膜内，引起红细胞胀大，甚至破裂，产生溶血现象。

（3）红细胞置于等渗溶液生理盐水中，膜内外渗透浓度相等，处于渗透平衡状态，

红细胞保持正常形态。因此只有使用等渗溶液才能保持红细胞的正常生理功能。

2. 细菌等致病菌附在咸菜等表面时，细菌等的膜外是 NaCl 含量很高的高渗溶液，此种情况下，膜内水分子主要流向膜外高渗溶液，造成细菌因脱水而死亡。

3. 解：设需用 112g/L 乳酸钠针剂 $x$ml，得

$1/6 \times 600 = 112/112 \times x$

x=100ml

用量为：100/20=5（支）

4. 解：设 55% 的酒精为 $x$ml，根据稀释定律得

$55\% \times x + 95\%(2000 - x) = 75\% \times 2000$

x=1000ml

95% 的酒精需要：2000ml −1000ml=1000ml

五、胶体溶液

【基础练习题】

一、填空题

1. 1~100nm　溶胶　高分子化合物溶液
2. 胶核选择性吸附
3. 加少量电解质　加带相反电荷溶胶　加热
4. 环境
5. 大　不稳定
6. 表面现象
7. 降低　聚集
8. 表面活性物质
9. 胶粒带电　溶剂化膜　布朗运动
10. 胶粒带电　溶剂化膜

二、选择题

1.C　2.D　3.B　4.B　5.D　6.B　7.B　8.D　9.C　10.B

三、判断题

1. ×　2. √　3. ×　4. ×

四、简答与计算

①溶胶稳定的主要原因是胶粒带电，少量电解质的加入即会中和胶粒电荷，使之稳定性下降；②蛋白质稳定的主要原因是溶剂化膜，蛋白质的水化膜密度大且厚实，其稳

定性比溶胶高，要加入大量的盐才能将其破坏。

【拓展习题】

一、填空题

1. H　H_2CO_3　$\frac{1}{2}$ H_2SO_4

2. 光学　布朗运动　电学

3. $[(AgCl)_m \cdot nCl^- \cdot (n-x)K^+]^{x-} \cdot xK^+$　正极

二、选择题

1. A　2.D　3. C　4.D　5.B

三、简答题

1. 答：不适用。当溶质是电解质的时候，拉乌尔定律发生偏离，主要原因电解质溶液由于溶质发生解离，使溶液中溶质粒子数增加，计算时应考虑其解离的因素，否则会使计算得到的 Δp、ΔT_b、ΔT_f 、Π 值比实验测得值小；另一方面，电解质溶液由于离子间的静电引力比非电解质之间的作用力大得多，因此用离子浓度来计算强电解质溶液的 Δp、ΔT_b、ΔT_f 、Π 时，其计算结果与实际值偏离较大，应该用活度代替浓度进行计算。对易挥发溶质的稀溶液，由于其溶质不断挥发，溶液浓度不断变化，所以也无法进行依数性计算。

2. 答：据范特霍夫的渗透压定律，若渗透现象停止了，说明渗透压相等，但其浓度不一定相等。

3. 答：（1）由于可溶性重金属离子（强电解质）可使胶体聚沉，人体组织中的蛋白质作为一种胶体，遇到可溶性重金属盐会凝结而变性，误服重金属盐会使人中毒。如果立即服用大量鲜牛奶这类胶体溶液，可促使重金属与牛奶中的蛋白质发生聚沉作用，从而减轻重金属离子对机体的危害。

（2）因为含有血浆蛋白的污水具有胶体溶液的性质，加入高分子絮凝剂会对胶体溶液起到敏化作用，促进胶体的凝聚，从而净化了污水。

四、计算题

1. 解：（1）$w(\text{NaCl}) = \dfrac{m(\text{NaCl})}{m_{总}} = \dfrac{3.173\text{g}}{12.003\text{g}} = 0.2644$

（2）$b(\text{NaCl}) = \dfrac{n(\text{NaCl})}{m_{总}-m(\text{NaCl})} = \dfrac{m(\text{NaCl})/M(\text{NaCl})}{m_{总}-m(\text{NaCl})} = \dfrac{(3.173/58.443)\text{mol}}{(12.003-3.173)/1000\text{kg}}$

$= 6.149\text{mol/kg}$

（3）$c(\text{NaCl}) = \dfrac{n(\text{NaCl})}{V} = \dfrac{m(\text{NaCl})/M(\text{NaCl})}{V} = \dfrac{3.173/58.443}{10.00/1000} = 5.429\text{mol/L}$

（4）$x(\text{NaCl}) = \dfrac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl})+n(\text{H}_2\text{O})} = \dfrac{m(\text{NaCl})/M(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl})/M(\text{NaCl})+m_{\text{H}_2\text{O}}/M(\text{H}_2\text{O})}$

$$= \frac{3.173/58.443}{3.173/58.443+8.830/18.015} = 0.099\ 72$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{NaCl})+n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{8.830/18.015}{3.173/58.443+8.830/18.015} = \frac{0.4901}{0.054\ 29+0.4901} = 0.9003$$

2. 解：由于都是水溶液，所以溶剂的沸点升高常数 K_b 相同，又知，$\Delta t_{\text{尿素}} = \Delta t_{\text{未知}}$，由稀溶液的依数性公式：$\Delta t_b = K_b \cdot b_B$，可得两种溶液的质量摩尔浓度相等：$b[(\text{NH}_2)_2\text{CO}] = b(\text{B})$

设未知物的摩尔质量为 $M(\text{B})$，代入上式得

$$\frac{1.50\text{g}/60.06\text{g/mol}}{(200/1000)\text{kg}} = \frac{42.8\text{g}/M(\text{B})}{(1000/1000)\text{kg}}$$

解之得：$M(\text{B}) = 342.7\text{g/mol}$

3. 解：由于人体血浆为水溶液，因而其溶质的质量摩尔浓度可由其凝固点降低值求得。

凝固点降低值：$\Delta t_f = 273.15\ \text{K} - 272.59\ \text{K} = 0.56\text{K}$

由公式 $\Delta t_f = K_f \cdot b_B$ 知，血浆的质量摩尔浓度为

$$b_B = \frac{\Delta t_f}{K_f} = \frac{0.56\text{K}}{1.86\text{K} \cdot \text{kg/mol}} = 0.301\text{mol/kg}$$

人体血浆的渗透压为 $b_B \approx c = 0.301\text{mol/L}$

$$\Pi = c_B RT = 0.301\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314\text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times (276.15+36.5)\text{K}$$

$$= 774.9\text{kPa}$$

4. 解：硫化砷胶体的胶团结构式为

$$[(\text{As}_2\text{S}_3)m \cdot n\text{HS}^- \cdot (n-x)\text{H}^+]^{x-} \cdot x\text{H}^+$$

由于硫化砷溶胶带负电荷，所以根据哈迪－叔尔采规则，电解质阳离子对其起聚沉作用，且电荷越高，聚沉能力越强，所以 NaCl、MgCl_2、AlCl_3 三种电解质中 NaCl 的聚沉能力最小，AlCl_3 的聚沉能力最大，MgCl_2 的聚沉能力居中。

六、化学反应速率和化学平衡

【基础练习题】

一、填空题

1. 反应物浓度的减少　生成物浓度的增加

2. 快

3. 活化分子　反应物分子
4. 反应物的本性（组成、结构、性质）　温度　浓度　压强　催化剂
5. 反应不能进行到底　等　定　动　变
6. 浓度　温度　压强
7. 平衡移动
8. 改变反应途径，降低反应的活化能
9. 有效碰撞数增多　增大活化分子百分数
10. 各反应物浓度次幂的乘积

二、选择题

1.C　2.C　3.A　4.A　5.B　6.D　7.D　8.B　9.A　10.C　11.E　12.C　13.A　14.C　15.A

三、判断题

1. ×　2. ×　3. ×　4. √　5. √　6. √　7. √　8. √

四、名词解释

1. 能发生化学反应的碰撞。
2. 同一反应条件下，能同时向两个方向进行的双向反应。
3. 在一定条件下，可逆反应的正逆反应速率相等，反应物浓度和生成物浓度不再随时间改变的状态。

五、简答与计算

答：① CO 与 Hb 的结合力是 O_2 与 Hb 结合力的 270 倍，CO 与 O_2 竞争结合 Hb，从而降低血液的运输 O_2 能力而引起组织细胞缺 O_2 而中毒。

$$Hb + CO = Hb\text{-}CO$$

$$Hb\text{-}O_2 + CO = Hb\text{-}CO + O_2$$

②上述反应中，增大 O_2 浓度，平衡向左移动，把 CO 从与 Hb 的结合中置换出来，恢复 Hb 携带 O_2 功能，即让患者吸入新鲜空气，最好是 O_2，才能达到救治目的。

【拓展习题】

一、填空题

1. $v_{正}=v_{逆}$　不变　改变
2. 化学平衡　不变　改变　降低
3. 而变　不随
4. 活化分子总数　活化分子百分数
5. <　>
6. =　<　>

7. 不　右

8. 吸热　吸热　放热　放热

二、选择题

1.A　2.C　3.D　4.A　5.B　6.B　7.A　8.D　9.C　10.D　11.A　12.A　13.C　14.D
15.B　16.C　17.D　18.D　19.C　20.A

三、判断题

1. ×　2. √　3. ×　4. ×　5. ×　6. ×　7. ×　8. √

四、简答题

1. 解：

（1）$$K^\theta=\frac{\left(\frac{p(NO_2)}{p^\theta}\right)}{\left(\frac{p(NO)}{p^\theta}\right)\left(\frac{p(O_2)}{p^\theta}\right)^{1/2}}$$

（2）$$K^\theta=\frac{\left(\frac{p(NO_2)}{p^\theta}\right)}{\left(\frac{p(CH_4)}{p^\theta}\right)\left(\frac{p(O_2)}{p^\theta}\right)^{1/2}}$$

（3）$$K^\theta=\frac{\left(\frac{c(Mn^{2+})}{c^\theta}\right)^2\left(\frac{p(O_2)}{p^\theta}\right)^5}{\left(\frac{c(Mn^{4-})}{c^\theta}\right)\left(\frac{c(H_2O_2)}{c^\theta}\right)^5\left(\frac{c(H^+)}{c^\theta}\right)^6}$$

2. 解：（1）$K=(K^\theta)_2=(2.2\times10^{-3})\times2=4.84\times10^{-6}$

（2）$K=\frac{1}{K^\theta}=\frac{1}{2.2\times10^{-3}}=454.5$

3. 答：平衡常数是指在一定温度下达到平衡状态时体系中各物质的浓度关系，转化率是某种物质的转化率，它等于被转化的量除以初始的量。

五、计算题

1. 解：方程式（3）：　　（3）=（2）×2-（1）×2

$$\therefore K^\theta=\frac{(K_2^\theta)^2}{(K_1^\theta)^2}=\left(\frac{1.8\times10^4}{0.8}\right)^2=5.06\times10^8$$

2. 解：因为方程式（4）：　（4）=（1）+（2）-（3）

$$K^\theta=\frac{K_1^\theta\times K_2^\theta}{K_3^\theta}=\frac{4.9\times10^{-10}\times1.8\times10^{-5}}{1.0\times10^{-14}}=0.882$$

3. 解：$K^\theta=\frac{0.204^2}{1}=0.041\ 616$

设达新平衡时，PCl_5 转化了 $x$mol/L

$$PCl_5(g) \Leftrightarrow PCl_3(g) + Cl_2(g)$$

初始浓度（mol/L）	1	0.204	0.204
平衡浓度（mol/L）	$1-x$	$0.204+x$	$0.204+x$

$$K^\theta = \frac{(0.204+x)^2}{1-x} = 0.041\ 616$$

解得：x=0.135mol/L

达新平衡时：$[PCl_5]$=0.865mol/L，$[PCl_3]=[Cl_2]$=0.339mol/L

4. 解：

$$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$$

初始分压（Pa）	3.03×10^5	0	0
平衡分压（Pa）	$3.03\times10^5-x$	x	x

$$K^\theta = \frac{[p_{eq}(PCl_3)/p^\theta][p_{eq}(Cl_2)/p^\theta]}{[p_{ep}(PCl_5)/p^\theta]}$$

$$11.5 = \frac{[x/(1.0\times10^5)]\cdot[x/(1.0\times10^5)]}{[3.03\times10^5 - x/(1.0\times10^5)]}$$

$$x=1.81\times10^4\text{Pa}$$

转化率 $\alpha = \frac{1.81\times10^5}{3.03\times10^5}\times100\% = 5.97\%$

5. 解：（1）

$$2HI(g) \Leftrightarrow H_2(g) + I_2(g)$$

初始浓度（mol/L）	$0.0100+2x$	0	0
平衡浓度（mol/L）	0.0100	x	x

$$K_c = \frac{x^2}{(0.0100)^2} = 1.82\times10^{-2} \Rightarrow x = 1.35\times10^{-3}\text{mol/L}$$

$[H_2]$ 和 $[I_2]$ 各是 1.35×10^{-3}mol/L，1.35×10^{-3}mol/L。

（2）$[HI]=0.0100+2\times1.35\times10^{-3}$=0.0127mol/L

（3）$\alpha = \frac{2\times1.35\times10^{-3}}{0.0127}\times100\% = 21.3\%$

七、酸碱平衡

【基础练习题】

一、填空题

1. 凡是在水溶液中电离产生的阳离子全部都是 H^+ 的化合物　凡是在水溶液中电离产生

的阴离子全部都是 OH^- 化合物

2. 凡是给出质子的物质　凡是接受质子的物质　既可接受质子，又可给出质子的物质

3. 共轭酸碱对　弱　强

4. 两个共轭酸碱对间的质子传递反应

5. 抗酸　抗碱　抗稀释

6. pK_a　缓冲比

7. $pK_a \pm 1$

二、选择题

1.D　2.C　3.D　4.D　5.D　6.E　7.B　8.C　9.B　10.A　11.E　12.D　13.A　14.D　15.A　16.D　17.C　18.D　19.B　20.C　21.D　22.D　24.D　25.C　26.D

三、判断题

1. √　2. √　3. ×　4. ×　5. √　6. √　7. ×　8. √

四、简答与计算

1. $pH = pK_a + \lg\frac{[Ac^-]}{[HAc]} = 4.75 + \lg\frac{\frac{0.1\times 50}{100}}{\frac{1\times 50}{100}} = 4.75 - 1 = 3.75$

2. $pH = pK_a + \lg\frac{[Ac^-]}{[HAc]} = 4.75 + \lg\frac{\frac{1\times 50}{100}}{\frac{0.1\times 50}{100}} = 4.75 + 1 = 5.75$

3. $pH = pK_a + \lg\frac{[HCO_3^-]}{CO_2(溶解)}$

即 $7.4 = 6.4 + \lg\frac{[HCO_3^-]}{CO_2(溶解)}$，$\frac{[HCO_3^-]}{CO_2(溶解)} = 1$，$\frac{[HCO_3^-]}{CO_2(溶解)} = 10$

4. （1）平衡时的特点是：$[HAc]$ 大，$[Ac^-]$ 大，$[H^+]$ 小；$HAc = H^+ + Ac^-$

（2）抗 H^+：上述平衡向左移动，Ac^- 抵抗外来的酸，Ac^- 抵抗外来的少量 H^+，是抗酸成分，新平衡时，$[HAc]$ ↑，$[Ac^-]$ ↓，而 $[H^+]$ 几乎不变，抗酸离子方程式：

$$H^+ + Ac^- = HAc$$

（3）抗 OH^-：上述平衡向右移动，HAc 抵抗外来的少量 OH^-，是抗碱成分，新平衡时，$[HAc]$ ↓，$[Ac^-]$ ↑，而 $[H^+]$ 几乎不变，抗碱离子方程式：$HAc + OH^- = Ac^- + H_2O$

（4）稀释时：根据亨氏方程 $pH = pK_a + \lg[B^-]/[HB]$ 可知，稀释时缓冲比 $[B^-]/[HB]$ 的值不改变，pH 不变。

5. 能抵抗外加少量强酸、强碱或稀释而保持溶液 pH 基本不变的溶液。

【拓展习题】

1. 解：酸：NH_4^+、H_2S、H_3O^+

碱：SO_4^{2-}、S^{2-}、CO_3^{2-}、OH^-

酸碱两性：$H_2PO_4^-$、NH_3、HSO_4^-、$[Al(HO)_2OH]^{2+}$、H_2O、HS^-、HPO_4^{2-}

2. 解：（1） pH=6.5　$[H^+]=3.2\times10^{-7}$mol/L

（2） pH=2.3　$[H^+]=5.0\times10^{-3}$mol/L

（3） pH=3.3　$[H^+]=5.0\times10^{-4}$mol/L

（4） pH=4.5　$[H^+]=3.2\times10^{-5}$mol/L

3. 解：多元弱电解质解离时，先解离出一个离子，平衡后再解离出两个离子，依次类推。多元弱酸解离出一个 H^+ 离子后，酸根与欲解离出的第二个 H^+ 作用力大为增加，解离更困难，故分级解离常数逐级减小。

4. 解：（1）是较差的缓冲溶液，因 HAc 和 NaAc 浓度很低，缓冲能力很有限。

（2）根本不是缓冲溶液，因没有抗酸因子和抗碱因子。

（3）是较好的缓冲溶液，其抗酸因子 Ac^- 和抗碱因子 HAc 的浓度都较大，缓冲能力强。

（4）是较好的缓冲溶液，其抗酸因子 NH_3 和抗碱因子 NH_4^+ 的浓度都较大，缓冲能力强。

（5）是较差的缓冲溶液，其抗酸因子 Ac^- 浓度小，抗酸能力较小。

5. 解：欲配制 pH 为 3 的缓冲溶液，其 K_a^θ 的指数应为 −3~−4，故选 HCOOH 较合适。

6. 解：由于 HCOOH 的酸性远远大于 HCN 的酸性，浓度相差又不太大，可以认为溶液中的 H^+ 几乎全部来自 HCOOH 的解离，来自 HCN 解离的 H^+ 浓度完全可以不计。

混合后，$c(HCOOH)=0.2/2=0.1$mol/L，$c/K_a^0=0.1/1.8\times10^{-4}=555.6>400$

可以用简略公式 $c(H^+)=\sqrt{cK_a^\theta}=\sqrt{0.1\times1.8\times10^{-4}}=4.2\times10^{-3}$mol/L，

$pH=-\lg c(H^+)=3-\lg4.2=2.38$

7.（1）（a）HCO_3^-　（b）H_2S　（c）H_3O^+　（d）$H_2PO_4^-$　（e）NH_4^+　（f）HS^-

（2）（a）$H_2PO_4^-$　（b）Ac^-　（c）S^{2-}　（d）NO_2^-　（e）ClO^-　（f）HCO_3^-

8. 解：（1）对。HS^- 有解离和水解两种倾向，但水解倾向更大，呈弱碱性。S^{2-} 只有水解，溶液呈较强碱性。

（2）NaH_2PO_4 溶液解离倾向大于水解倾向，平衡时溶液中 H^+ 浓度大于 OH^- 浓度，溶液显酸性；Na_2HPO_4 溶液解离倾向小于水解倾向，平衡时溶液中 H^+ 小于 OH^- 浓度，溶液显碱性。

9. 解：$HA \rightleftharpoons H^++A^-$　pH 为 4.0，则 $c(H^+)=10^{-4}$mol/L，$c(A^-)=10^{-4}$mol/L，

$$K^0 = \frac{c(H^+)c(A^-)}{c(HA)} = \frac{10^{-4} \times 10^{-4}}{0.010 - 10^{-4}} \approx 1.0 \times 10^{-7}$$

$$\alpha = \frac{c(H^+)}{c_0(HA)} \times 100\% = \frac{10^{-4}}{0.01} 100\% = 1\%$$

10. 解：由于硫酸是强酸，溶液的 pH=1.84，则 $c(H^+) = 10^{-1.84} = 0.014\ 45$mol/L，

其一级解离是完全的，其中 0.010mol/L H^+ 由一级解离得来。

二级解离是部分解离：$HSO_4^- \rightleftharpoons H^+ + SO_4^{2-}$，其中 0.004 45mol/L H^+ 由二级解离得来。

$c(HSO_4^-) = 0.01 - 0.004\ 45 = 0.005\ 55$mol/L，$c(SO_4^{2-}) = 0.014\ 45 - 0.01 = 0.004\ 45$mol/L

$$K^0 = \frac{c(H^+)c(SO_4^{2-})}{c(HSO_4^-)} = \frac{0.014\ 45 \times 0.004\ 55}{0.005\ 55} = 0.012$$

11. 解： 求碳酸溶液的 pH　$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$

$c/K_a > 500$　用最简式计算：

$$[H^+] = \sqrt{K_a c} = \sqrt{4.45 \times 10^{-7} \times 0.034} = 1.2 \times 10^{-4}\text{mol/L}$$

$pH = -\lg 1.2 \times 10^{-4} = 3.9$

$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$

$[CO_3^{2-}] = K_2 = 5.6 \times 10^{-11}$mol/L

12. 解：pH=9.0，pOH=14.0−9.0=5.0，$c(OH^-) = 1.0 \times 10^{-5}$mol/L

氨水中加入 $(NH_4)_2SO_4$ 构成缓冲溶液，

$$c(OH^-)K^0(NH_3)\frac{c(NH_3)}{c(NH_4^+)}$$

$$c(NH_4^+) = K^0(NH_3)\frac{c(NH_3)}{c(OH^-)} = 1.8 \times 10^{-5} \times \frac{1.0}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.8\text{mol/L}$$

$c[(NH_4)_2SO_4] = 1.8/2 = 0.9$mol/L

$m[(NH_4)_2SO_4] = 0.9 \times 1 \times 132 = 118.8$g

13. 解：（1）以上所得溶液是缓冲溶液。

$c(HAc) = (6.0 \times 13 \times 10^{-3})/1 = 0.078$mol/L

$c(NaAc) = 100 \div 1 \div 136 = 0.74$mol/L

$$pH = pK^0(HAc) - \lg\frac{c(HAc)}{c(NaAc)} = 4.74 - \lg\frac{0.078}{0.74} = 5.72$$

（2）向此溶液中通入 HCl 气体，则发生如下反应：

$$NaAc + HCl = NaCl + HAc$$

反应后：　$c(HAc) = 0.078 + 0.10 = 0.18$mol/L

$c(NaAc) = 0.74 - 0.10 = 0.64$mol/L

$$pH = pK^{\Theta}(HAc) - \lg\frac{c(HAc)}{c(NaAc)} = 4.74 - \lg\frac{0.18}{0.64} = 5.30$$

△（pH）=5.30−5.72=−0.42

14. 解：（1）$NH_4^+ + OH^- \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O$

$c(NH_3)_{生成}$ =（50.0× 0.200）/（50.0+ 50.0）=0.100mol/L

$c/K_a>500$

用最简式计算 $[OH^-]$

$[OH^-] = \sqrt{K_b c} = \sqrt{1.77\times10^{-5}\times0.100} = 1.33\times10^{-3}$ mol/L

（2）发生中和反应，最后形成 $NH_3-NH_4^+$ 的缓冲溶液

$c(NH_3)_{生成}$ =（25.0× 0.200）/（50.0+ 25.0）=0.0667mol/L

$c(NH_4^+)_{剩余}$ =（50.0× 0.200−25.0×0.200）/（50.0+ 25.0）=0.0667mol/L

依 $[OH^-]= K_b c_b/c_s=1.77\times10^{-5}\times 0.0667/0.0667=1.77\times10^{-5}$

pH=14+ lg1.77×10−5=14−4.75=9.25

（3）发生中和反应，最后剩余 NaOH，按剩余 NaOH 计算

$[OH^-]$=（50.0× 0.200−25.0× 0.200）/（50.0+ 25.0）=0.0667mol/L

pH=14+ lg0.0667=14−1.12=12.88

（4）此题可分两步计算 . 第一步 $H_2C_2O_4$ 先和 NaOH 反应生成，然后 $HC_2O_4^-$ 再和 NaOH 反应生成 $HC_2O_4^-$ 和 $C_2O_4^{2-}$ 的缓冲溶液

$H_2C_2O_4 + OH^- \rightleftharpoons HC_2O_4^- + H_2O$

$c(HC_2O_4^-)$ =（20.0× 0.100）/（20.0+ 30.0）=0.400mol/L

$HC_2O_4^- + OH^- \rightleftharpoons C_2O_4^{2-} + H_2O$

$c(C_2O_4^{2-})_{生成}$ =（30.0× 0.100−20.0×0.100）/（20.0+ 30.0）=0.200mol/L

$c(HC_2O_4^-)_{剩余}$ =0.400mol/L−0.200mol/L=0.200mol/L

$HC_2O_4^- \rightleftharpoons H^+ + C_2O_4^{2-}$

$K_2=[H^+][C_2O_4^{2-}]/[HC_2O_4^-]$　　$K_2=[H^+]=5.4\times10^{-5}$

$pH=-\lg 5.4\times10^{-5}=4.27$

八、难溶电解质的沉淀 – 溶解平衡

【基础练习题】

一、选择题

1.D　2. A　3.C　4.C　5.C　6.B

二、判断题

×

三、简答与计算

1. 溶液中还残留有 Ag^+ 和 I^-，只是浓度较小而已，因为沉淀完全后，存在溶液－溶解平衡。

$AgCl \rightarrow Ag^+ + I^-$

$K_{sp}=[Ag^+][I^-]=9\times10^{-16}$

$[Ag^+]=[I^-]=3\times10^{-8}$

2. （1）三种溶液发生时，所需的 $[CO_3^{2-}]$ 分别是：

$BaCO_3$：$[CO_3^{2-}]=K_{sp}/[Ba^{2+}]=2.58\times10^{-9}/0.01=2.58\times10^{-7}$

$MgCO_3$：$[CO_3^{2-}]=K_{sp}/[Mg^{2+}]=6.82\times10^{-6}/0.01=6.82\times10^{-4}$

$PbCO_3$：$[CO_3^{2-}]=K_{sp}/[Pb^{2+}]=1.46\times10^{-13}/0.01=1.46\times10^{-11}$

（2）可见沉淀 $PbCO_3$ 所需 $[CO_3^{2-}]$ 最小，因此 $PbCO_3$ 最先沉淀。

（3）三种离子的沉淀顺序是：Pb^{2+}、Ba^{2+}、Mg^{2+}。

3. （1）沉淀生成：$Cl^- + Ag^+ = AgCl\downarrow$（白）。

（2）沉淀溶解：$AgCl + NH_3\cdot H_2O = [Ag(NH_3)]Cl + H_2O$ 形成比 AgCl 更稳定的配合物。

（3）沉淀再生成：$[Ag(NH_3)]^+ + I^- = AgI\downarrow + 2NH_3$，AgI 比 $[Ag(NH_3)]^+$ 更稳定，平衡转移。

4. 形成配合物而使沉淀溶解，酸化引起的酸效应，使配离子解离，导致沉淀析出

$AgCl\downarrow + 2NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2] \rightarrow AgCl\downarrow + NH_4^+$

【拓展习题】

1. 答：AgCl 和 $BaSO_4$ 水溶液的导电性虽很弱，溶液中离子浓度很小，这是由于 AgCl 和 $BaSO_4$ 本身溶解度小，致使溶液中自由离子浓度小，导电性弱。而 AgCl 和 $BaSO_4$（溶解部分）在溶液中还是全部解离的，所以是强电解质。

2. 答：不可。若难溶电解质的类型不一样，溶解度与溶度积的计算公式不同，相应的溶解度与溶度积的数据不一定平行。故不能根据各难溶电解质的溶度积大小直接比较溶解度的大小。

3. （1）$CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$

加入 HCl 后，H^+ 与 CO_3^{2-} 结合生成 CO_2，H_2O，使 $CaCO_3$ 溶解沉淀平衡不断向右移动，直至 $CaCO_3$ 溶解。

（2）$Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$

加入 NH_4Cl 后，NH_4Cl 解离出的 NH_4^+ 与 OH^- 结合生成 $NH_3\cdot H_2O$，致使 $Mg(OH)_2$ 溶解沉淀平衡不断向右移动，直至 $Mg(OH)_2$ 溶解。

（3）$AgCl(s) + 2NH_3 \cdot H_2O \rightarrow Ag(NH_3)_2^+(aq) + 2OH^-(aq)$

加入 HNO_3 后，HNO_3 与 OH^- 结合，使上述平衡向左移动，致使重新生成 AgCl 沉淀。

（4）$Zn^{2+}(aq) + H_2S(aq) \rightleftharpoons ZnS(s) + 2H^+(aq)$

往 $ZnSO_4$ 溶液中通入 H_2S 气体，有大量 H^+ 生成，使上述平衡不能不能完全向右，若溶液中 H^+ 浓度较高，甚至不能形成 ZnS 沉淀。若事先加入适量的 NaAc，NaAc 会中和溶液中的 H^+，使平衡向右，沉淀完全。

4. 答：同离子效应的作用是抑制能解离出与溶液中已大量存在的相同离子的弱电解质的解离。

5. 答：$H_2C_2O_4(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HC_2O_4^-(aq)$

$HC_2O_4^-(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + C_2O_4^{2-}(aq)$

草酸溶液中加入 $CaCl_2$ 溶液后，溶液中 $C_2O_4^{2-}$ 与 Ca^{2+} 结合生成 $CaC_2O_4 \cdot H_2O$ 沉淀。但由于 $H_2C_2O_4$ 解离不完全，沉淀生成后，溶液中还有较多的 $H_2C_2O_4$ 和少量 $C_2O_4^{2-}$。加入氨水后，$H_2C_2O_4$ 的解离平衡向右移动，产生大量的 $C_2O_4^{2-}$，又达到了 CaC_2O_4 的溶度积，又有 $CaC_2O_4 \cdot H_2O$ 沉淀产生。

6. 答：（1）因 $BaSO_4$ 沉淀多少能在水中溶解一些，用稀 H_2SO_4 洗涤，由于同离子效应，能减少洗涤时的溶解损失。

（2）$PbCO_3(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$

加入 HNO_3 后，HNO_3 解离的 H^+ 与 CO_3^{2-} 结合生成 CO_2 和水，使上述溶解沉淀平衡不断向右进行，$PbCO_3$ 溶解于 HNO_3。

而 $PbSO_4(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$，加入 HNO_3 后，不对上述溶解沉淀平衡产生影响，故 $PbSO_4$ 不溶解于 HNO_3。

7.（1）$SnCl_2$ 应在稀盐酸溶液中配制；$Bi(NO_3)_3$ 应在稀硝酸溶液中配制；Na_2S 应在稀 NaOH 溶液中配制。

（2）$Al_2S_3(s) + 6H_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3(s) + 3H_2S(g)$，由于剧烈的双水解，$Al_2S_3$ 不能在水溶液中制备。

（3）在 Na_2CO_3 和 $CaCl_2$ 溶液中，由于同离子效应，$CaCO_3$ 的溶解度远小于其在水中的溶解度。在 KNO_3 由于有盐效应，其溶解度略大于其在水中的溶解度，故 $CaCO_3$ 在 0.5mol/L KNO_3 中的溶解度最大。

（4）$PbCl_2(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$，加入酸，降低溶液的 pH 后，对 $PbCl_2$ 的沉淀溶解平衡无影响，其溶解度基本不变。其他几种沉淀降低 pH 后，H^+ 均会与上述电解质的阴离子结合成弱电解质，使这些难溶电解质溶解度增加。

8. 答：$K_{sp}^{\ominus}(PbCl_2) = c(Pb^{2+})c(Cl^-)^2$，$K_{sp}^{\ominus}(Ag_2S) = c(Ag^+)^2 c(S^{2-})$，

$K_{sp}^{\ominus}(Fe_2S_3) = c(Fe^{3+})^2 c(S^{2-})^3$，$K_{sp}^{\ominus}[Ba_3(PO_4)_2] = c(Ba^{2+})^3 c(PO_4^{3-})^2$，

9. 解：（1）$c(Fe^{2+})=c(C_2O_4^{2-})=0.10/179.85=5.56\times10^{-4}$mol/L

$K_{sp}^{0}(FeC_2O_4)=c(Fe^{2+})c(C_2O_4^{2-})=(5.56\times10^{-4})^2=3.09\times10^{-7}$

（2）$K_{sp}^{0}[N_2^-(OH)_2]=c(Ni^{2+})c(OH^-)^2=1.6\times10^{-6}\times(10^{-5})^2=1.6\times10^{-16}$

10. 解：（1）$K_{sp}^{0}(CaF_2)=c(Ca^{2+})c(F^-)^2=S(2S)^2=4S^3$

$$S=\sqrt[3]{\frac{K_{sp}^{0}}{4}}=\sqrt[3]{\frac{5.3\times10^{-9}}{4}}=1.1\times10^{-3}\text{mol/L}$$

$c(Ca^{2+})=S=1.1\times10^{-3}$mol/L，$c(F^-)=2S=2.2\times10^{-3}$mol/L

（2）$K_{sp}^{0}(PbSO_4)=c(Pb^{2+})c(SO_4^{2-})=S^2$

$$S=\sqrt{K_{sp}^{0}(PbSO_4)}=\sqrt{1.8\times10^{-8}}=1.34\times10^{-4}\text{mol/L}$$

$c(Pb^{2+})=c(SO_4^{2-})=1.34\times10^{-4}$mol/L

11. 解：（1）$Cu^{2+}+H_2S = CuS(s)+2H^+$

$c(H^+)=2\times0.1=0.2$mol/L

$$c(S^{2-})=\frac{K_a^{0}(H_2S)c(H_2S)}{c^2(H^+)}=\frac{1.1\times10^{-21}\times0.1}{0.2^2}=2.34\times10^{-21}\text{mol/L}$$

$c(Cu^{2+})=K_{sp}^{0}(CuS)/c(S^{2-})=(6.3\times10^{-36})/(2.34\times10^{-21})=2.69\times10^{-15}$mol/L

（2）$Cu^{2+}+H_2S = CuS(s)+2H^+$

$c(H^+)=2\times0.1+1.0=1.2$mol/L

$$c(S^{2-})=\frac{K_a^{0}(H_2S)c(H_2S)}{c^2(H^+)}=\frac{1.1\times10^{-21}\times0.1}{1.2^2}=7.64\times10^{-23}\text{mol/L}$$

$c(Cu^{2+})=K_{sp}^{0}(CuS)/c(S^{2-})=(6.3\times10^{-36})/(7.64\times10^{-23})=8.25\times10^{-14}$mol/L

12. 解：（1）$Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq)+2OH^-(aq)$

S　　　2S

$K_{sp}^{0}[Mg(OH)_2]=c(Mg^{2+})c(OH^-)2=S(2S)^2=4S^3$

$$S=\sqrt[3]{\frac{K_{sp}^{0}[Mg(OH)_2]}{4}}=\sqrt[3]{\frac{5.56\times10^{-12}}{4}}=1.17\times10^{-4}\text{mol/L}$$

$c(Mg^{2+})=S=1.17\times10^{-4}$mol/L，$c(OH^-)=2S=2.23\times10^{-4}$mol/L

13. 解：（1）$$K^{0}=\frac{c(CrO_4^{2-})}{c(S^{2-})}\times\frac{c(Pb^{2+})}{c(Pb^{2+})}=\frac{K_{sp}^{0}(PbCrO_4)}{K_{sp}^{0}(PbS)}=\frac{2.8\times10^{-13}}{8.0\times10^{-28}}=3.5\times10^{14}$$

（2）$$K^{0}=\frac{c(CrO_4^{2-})}{c^2(Br^-)}\times\frac{c^2(Ag^+)}{c^2(Ag^+)}=\frac{K_{sp}^{0}(Ag_2CrO_4)}{[K_{sp}^{0}(AgBr)]^2}=\frac{1.12\times10^{-12}}{(5.35\times10^{-13})}=3.91\times10^{12}$$

14. 解：（1）$Pb(OH)_2$开始析出所需最低$c(OH^-)$为

$$c(OH^-)=\sqrt{\frac{K_{sp}^{0}[Pb(OH)_2]}{c(Pb^{2+})}}=\sqrt{\frac{1.43\times10^{-15}}{3.0\times10^{-2}}}=2.2\times10^{-7}\text{mol/L}$$

$Cr(OH)_3$ 开始析出所需最低 $c(OH^-)$ 为

$$c(OH^-)=\sqrt[3]{\frac{K_{sp}^{\ominus}[Cr(OH)_3]}{c(Cr^{3+})}}=\sqrt[3]{\frac{6.3\times10^{-31}}{2.0\times10^{-2}}}\times3.2\times10^{-10}mol/L$$

$Cr(OH)_3$ 开始析出所需 $c(OH^-)$ 更低，故 $Cr(OH)_3$ 首先沉淀。

（2）$Cr(OH)_3$ 沉淀完全[即 $c(Cr^{3+})\leqslant10^{-5}mol/L$]时所需最低 $c(OH^-)$ 为

$$c(OH^-)=\sqrt[3]{\frac{K_{sp}^{\ominus}[Cr(OH)_3]}{c(Cr^{3+})}}=\sqrt[3]{\frac{6.3\times10^{-31}}{2.0\times10^{-2}}}\times3.2\times10^{-10}mol/L$$

$pH=14.00-pOH=14.00-[-\lg(4.0\times10^{-9})]=5.60$

若 $Pb(OH)_2$ 不沉淀，所允许的 OH^- 最高浓度即开始析出所需最低 $c(OH^-)$

$c(OH^-)\leqslant2.2\times10^{-7}mol/L$

$pH=14.00-pOH=14.00-[-\lg(2.2\times10^{-7})]=7.34$

要分离这两种离子，溶液的 pH 应控制在 5.60~7.34。

15. 解：（1）恰好使 50% 的 Mg^{2+} 沉淀，溶液中剩下的 $c(Mg^{2+})=0.06/4=0.015mol/L$

此时溶液中 $c(OH^-)=\sqrt{\frac{K_{sp}^{\ominus}[Mg(OH)_2]}{c(Mg^{2+})}}=\sqrt{\frac{1.8\times10^{-11}}{0.015}}=3.46\times10^{-5}mol/L$

$$pH=14.00-pOH=14.00-[-\lg(3.46\times10^{-5})]=9.54$$

（2）当 $c(OH^-)=3.46\times10^{-5}mol/L$ 时，其他阳离子在溶液中容许的浓度为：

$$c(Ca^{2+})=\frac{K_{sp}^{\ominus}[Ca(OH)_2]}{c^2(OH^-)}=\frac{1.3\times10^{-6}}{(3.46\times10^{-5})^2}=1085.9mol/L$$

可见，Ca^{2+} 未被沉淀。

$$c(Cd^{2+})=\frac{K_{sp}^{\ominus}[Cd(OH)_2]}{c^2(OH^-)}=\frac{2.5\times10^{-14}}{(3.46\times10^{-5})^2}=2.1\times10^{-5}mol/L$$

Cd^{2+} 被沉淀的物质的量分数 $=\frac{(2\times10^{-3})\times2-2.1\times10^{-5}}{(2\times10^{-3})/2}\times100\%=97.9\%$

$$c(Fe^{3+})=\frac{K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3]}{c(OH^-)^3}=\frac{4\times10^{-38}}{(3.46\times10^{-5})^3}=9.66\times10^{-25}mol/L$$

Fe^{3+} 被沉淀的物质的量分数 $=\frac{(2\times10^{-3}5)/2-9.66\times10^{-25}}{(2\times10^{-5})/2}\times100\%=100\%$

16. 解：（1）Zn^{2+} 开始沉淀的 $c(OH^-)=\sqrt{\frac{K_{sp}^{\ominus}[Zn(OH)_2]}{c(Zn^{2+})}}=\sqrt{\frac{1.2\times10^{-17}}{0.2}}=7.75\times10^{-9}mol/L$

$pH=14.00-pOH=14.00-[-\lg(7.75\times10^{-9})]=5.89$

Zn^{2+} 沉淀完全的 $c(OH^-)=\sqrt{\frac{K_{sp}^{\ominus}[Zn(OH)_2]}{c(Zn^{2+})}}=\sqrt{\frac{1.2\times10^{-17}}{1.0\times10^{-5}}}=1.10\times10^{-6}mol/L$

pH=14.00−pOH=14.00−[−lg（1.10×10^{-6}）]=8.04

（2）Fe^{2+} 开始沉淀的 $c(OH^-)=\sqrt{\dfrac{K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_2]}{c(Fe^{2+})}}=\sqrt{\dfrac{8\times10^{-16}}{0.056/56}}=8.94\times10^{-7}$ mol/L

pH=14.00−pOH=14.00−[−lg（8.94×10^{-7}）]=7.95

Fe^{2+} 沉淀完全的 $c(OH^-)=\sqrt{\dfrac{K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_2]}{c(Fe^{2+})}}=\sqrt{\dfrac{8\times10^{-16}}{1.0\times10^{-5}}}=8.9\times10^{-6}$ mol/L

pH=14.00−pOH=14.00−[−lg（8.9×10^{-6}）]=8.95

（3）Fe^{3+} 开始沉淀的 $c(OH^-)=\sqrt[3]{\dfrac{K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3]}{c(Fe^{3+})}}=\sqrt[3]{\dfrac{4\times10^{-38}}{0.056/56}}=3.42\times10^{-12}$ mol/L

pH=14.00−pOH=14.00−[−lg（3.42×10^{-12}）]=2.54

Fe^{3+} 沉淀完全时所需最低 c（OH^-）为

$c(OH^-)=\sqrt[3]{\dfrac{K_{sp}^{\ominus}[Fe(OH)_3]}{c(Fe^{3+})}}=\sqrt[3]{\dfrac{4\times10^{-38}}{1.0\times10^{-5}}}=1.59\times10^{-11}$ mol/L

pH=14.00−pOH=14.00−[−lg（1.59×10^{-11}）]=3.20

由以上计算可知，若不把 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+}，在调 pH 除去 Fe^{2+} 时，Zn^{2+} 会先沉淀；当把 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} 后，只要控制 pH 在 3.20~5.89，就可以保证 Fe^{3+} 完全沉淀，而 Zn^{2+} 不被沉淀，两者达到分离的目的。

17. 解：当 Ba^{2+} 已有 99.99% 沉淀为 $BaSO_4$ 时，溶液中

c（Ba^{2+}）=0.1×（1−99.99%）=1.0×10^{-5} mol/L

此时溶液中 $c(SO_4^{2-})=\dfrac{K_{sp}^{\ominus}(BaSO_4)}{c(Ba^{2+})}=\dfrac{1.1\times10^{-10}}{1.0\times10^{-5}}=1.1\times10^{-5}$ mol/L

溶液中 $c(Sr^{2+})=\dfrac{K_{sp}^{\ominus}(SrSO_4)}{c(SO_4^{2-})}=\dfrac{3.2\times10^{-7}}{1.1\times10^{-5}}=2.82\times10^{-2}$ mol/L

残留在溶液中 Sr^{2+} 的物质的量分 $\dfrac{2.82\times10^{-2}}{0.1}\times100\%=28.2\%$

九、氧化还原与电极电势

【基础练习题】

一、填空题

1. 电子得失的化学　物质失去电子的反应　物质得到电子的反应
2. 得到电子，化合价降低的物质　失去电子，化合价升高的物质

3. $\varepsilon>0$　$\varepsilon<0$

4. （－）$Zn|Zn^{2+}$（α）‖ Cu^{2+}（α）|Cu|（＋）

5. 无法测定　0

6. 强　强

7. 能斯特

二、选择题

1.D　2.A　3.C　4.B　5.A　6.A

三、判断题

1. √　2. √

四、简答与计算

1. 根据标准电势大小可知：

（1）$\varphi^0_{Cu^{2+}/Cu}>\varphi^0_{Fe^{2+}/Fe}$，$\varepsilon>0$，反应 $Cu^{2+}+Fe=Fe^{2+}+Cu$ 能自发进行，故金属铁能置换铜离子；

（2）$\varphi^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}>\varphi^0_{Cu^{2+}/Cu}$，$\varepsilon>0$，反应 $Fe^{3+}+Cu=Fe^{2+}+Cu^{2+}$ 能自发进行，故三氯化铁又能溶解铜板。

2. （1）$\varphi^0_{O_2,\ H+/H_2O}>\varphi^0_{I_2/I^-}$ $\varepsilon>0$ 反应 $O_2+4I^-+4H^+=2H_2O+2I_2$ 能自发进行，有黄色 I_2 析出，故在空气中久置会变黄；

（2）$\varphi^0_{O_2,\ H+/H_2O}>\varphi^0_{Fe^{2+}/Fe}$ $\varepsilon>0$ 反应 $O_2+4Fe^{2+}+4H^+=2H_2O+4Fe^{3+}$ 能自发进行，有黄色 Fe^{3+} 生成，故在空气中久置会变黄。

【拓展习题】

1. 解：（1）$MnO_4^-+2H_2O+3e=MnO_2+4OH^-$

（2）$CrO_4^{2-}+4H_2O+3e=Cr(OH)_3+5OH^-$

（3）$H_2O_2+2e=2OH^-$

（4）$H_3AsO_4+2H^++2e=H_3AsO_3+H_2O$

（5）$O_2+2H^++2e=H_2O_2$

2. 解：在酸性介质中，$KMnO_4$,$K_2Cr_2O_7$,$CuCl_2$,$FeCl_3$,I_2,Br_2,Cl_2,F_2 作为氧化剂，其还原产物分别为（离子）Mn^{2+},Cr^{3+},Cu,Fe^{2+},I^-,Br^-,Cl^-,F^-，φ^θ 越大，氧化能力越强，依据电极电势表，得氧化能力从大到小依次排列为

$F_2>MnO_4^->Cl_2>Cr_2O_7^{2-}>Br_2(aq)>Fe^{3+}>I_2>Cu^{2+}$

3. 解：φ^θ 越小，还原本领越强。在酸性介质中，Fe^{2+},Sn^{2+},H_2,I^-,Li,Mg,Al 分别被氧化为 Fe^{3+},Sn^{4+},H^+,I_2,Li^+,Mg^{2+},Al^{3+}，依据电极电势，得还原能力从大到小依次排列为

$Li>Mg>Al>H_2>Sn^{2+}>I^->Fe^{2+}$

4. 解：（a）$\varphi^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu^{+}} = 0.153V$　$\varphi^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu} = 0.337V$

$\varphi^{\theta}_{Cu^{+}/Cu} = 0.521V$

$Cu^{2+}\frac{0.153}{}Cu^{+}\frac{0.521}{}Cu$

依据元素电势图的知识，可知歧化反应能发生。

（b）$Hg^{2+}\frac{0.920}{}Hg_2^{2+}\frac{0.788}{}Hg$

右边大于左边，发生的应是归中反应而不是歧化反应。

（c）碱性条件下

$IO^{-}\frac{0.45}{}I_2\frac{0.54}{}I^{-}$

依据元素电势图的知识，可知歧化反应能发生。

（d）酸性条件下

$HIO^{-}\frac{1.45}{}I_2\frac{0.54}{}I^{-}$

发生的应是归中反应不是歧化反应。

5. 解：电对 $Ag_2C_2O_4 + 2e \rightarrow 2Ag + C_2O_4^{2-}$ 的标准电极电势，即指 $\alpha_{C_2O_4^{2-}} = 1$ 时，$\varphi_{Ag^{+}/Ag}$ 的值。由此可知

$$\varphi^{\theta}_{Ag_2C_2P_4/Ag} = \varphi^{\theta}_{Ag^{+}/Ag} + \frac{RT}{2F}\ln\alpha^2_{Ag^{+}} \quad \alpha^2_{Ag^{+}}\alpha_{C_2O_4^{2-}} = 3.5\times10^{-11} \quad \alpha_{C_2O_4^{2-}} = 1$$

$$\Rightarrow\varphi^{\theta}_{Ag_2C_2O_4/Ag} = \varphi^{\theta}_{Ag^{+}/Ag} + \frac{RT}{2F}\ln(3.5\times10^{-11}) = 0.7991 - 0.3093 = 0.4898V$$

6. 解：此种电池实际上称为浓差电池

H_2（高浓度）→ H_2（低浓度）

$$E = E^{\theta} + \frac{RT}{2F}\ln\frac{a_1}{a_2} = \frac{8.314\times298.2}{965\,00\times2}\ln\frac{1}{0.1} = 0.029\,57V$$

7. 解：$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$

$$\varphi_{Cu^{2+}/Cu} = \varphi^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu} + \frac{RT}{2F}\alpha_{Cu^{2+}} = 0.521 - 0.05395 = 0.4671V$$

$Ni^{2+} + 2e \rightarrow Ni$

$$\varphi_{Ni^{2+}/Ni} = \varphi^{\theta}_{Ni^{2+}/Ni} + \frac{RT}{2F}\ln\alpha_{Ni^{2+}} = 0.25 + \frac{RT}{2F}0.23 = 0.2689V$$

$$H^{+} + e \rightarrow \frac{1}{2}H_2(g)$$

$$\varphi_{H^{+}/H_2} = \varphi^{\theta}_{H^{+}/H_2} + \frac{RT}{F}\ln\alpha_{H^{+}} = \frac{8.314\times298.2}{965\,00}\ln0.72 = 0.008\,44V$$

电极电势越高，氧化能力越强，越容易析出，照理论计算结果可看出，Cu 最先析出。

8. 解：

$$\lg K^{\theta} = \frac{nE^{\theta}}{0.0591} = \frac{n(\varphi^{\theta}_{正} - \varphi^{\theta}_{负})}{0.0591} = \frac{1\times(0.770 - x)}{0.0591}$$

$x = 0.786V$

$\varphi^{\theta}_{Ag^+/Ag}=0.786V$

9. 解：$Cu^{2+}+2e \rightarrow Cu$

$$\varphi_{Cu^{2+}/Cu}=\varphi^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu}+\frac{RT}{2F}\ln\alpha_{Cu^{2+}}=0.521-0.053\,95=0.4671V$$

电极电势比较大，$\triangle rG_m^{\theta}$ 则比较小，所以进行的彻底。

十、配位化合物和生物元素

【基础练习题】

一、填空题

1. 空轨道　孤对电子
2. 环状结构　多齿配体
3. 简单配合物　螯合物
4. 1　2

二、选择题

1.B　2.D　3.A　4.C　5.D　6.D　7.B　8.D　9.B　10.D　11.C

三、判断题

1. ×　2. √

四、命名题

1. 氢氧化二氯·三氨·水合钴（Ⅲ）　氯化二氨合铜（Ⅰ）
2. $[Cu(NH_3)_4]SO_4$　$K_2[PtCl_6]$

五、简答与计算

① $NH_4Fe(SO_4)_2$ 溶液中有血红色的物质生成。

② $NH_4Fe(SO_4)_2$ 是复盐，其水溶液中有足量的 Fe^{3+}。

③ $K_3[Fe(CN)_6]$ 是配合物，有较大的稳定常数，其水溶液中只有微量的 Fe^{3+}。

④足量的 Fe^{3+} 可与 KSCN 反应生成血红色的 $[Fe(SCN)_6]^{3-}$。

【拓展习题】

1. 答：Cu（Ⅱ）的价电子构型为 $3d^9$，若将 d 轨道上一个单电子激发到外层轨道，则可利用 3d 轨道进行 dsp^2 杂化，由于内层轨道参与杂化，故轨道能量较低，接受配体孤电子对后，晶体场稳定化能较大，即体系的能量较低，故配离子稳定，若用 sp^3 杂化成键，则 3d 轨道上只填有 9 个电子，而外层轨道上却填有 8 个电子，所以体系能量较高，即晶体场稳定化能较小，配离子不太稳定，若用 d^2sp^3 杂化，也因 4d 能

量太高，故形成的配离子也不稳定，若用 sp^3d^2 杂化，也因 4d 轨道能量太高，故形成的配离子也不稳定。以上叙述也可以通过晶体场稳定化能比较看出，用 dsp^2 杂化轨道成键时，稳定化能为 1228Dq，正八面场为 1.78Dq，所以，Cu（Ⅱ）倾向于以 dsp^2 杂化成配离子，故空间构型为平面四边形。

2. 答： 由于大多数过渡元素的离子的 d 轨道都部分填充电子，在配位体的作用下，中心形成体的 d 轨道了生能级分裂，在可见光照射下，低能 d 轨道上的电子会吸收部分光的光能而跃迁到高能 d 轨道上，则剩余部分的可见光不再为白光而呈现特征颜色。这就是过渡金属配离子显色的原因。若 d 轨道全满或全空，则无 d—d 轨道跃迁现象，而它的配离子是不会显色的。

3. 答：Mn（Ⅱ）的电子构型为 $3d^5$ 由于 CN—为强的配位体，产生较强的配位体场，可以促使 Mn（Ⅱ）的 d 电子配对，故 Mn（Ⅱ）用 d^2sp^3 杂化轨道与 CN—配位成键。由于配离子 $[Mn(CN)_6]_4$—中 Mn（Ⅱ）的单电子数仅为 1，远远少于游离 Mn^{2+} 中的单电子数（5 个），故 $[Mn(CN)_6]_4$—是低自旋配合物。

4. 答：在这简单的锌盐铜盐。$E^{\theta}_{Zn^{2+}/Zn}$ 和 $E^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu}$ 的值，相差很大，所以进行电镀就不会同时析出，在此溶液中加入 NaCN 后，CN^- 分别与 Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 配位生成 $[Cu(CN)_2]^-$ 和 $[Zn(CN)_4]^{2-}$ · $[Cu(CN)_2]^-$ 的 $K_{稳}$比 $[Zn(CN)_4]^{2-}$ 的 $K_{稳}$大，所以使 $E^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu}$ 的电位值降低比较厉害，最后使得两者的条件电极电势差不多，就可同时析出。

5. 答：晶体场理论认为：在 $[Cu(H_2O)_4]SO_4 \cdot H_2O$ 和 $[Cu(NH_3)_4 \cdot H_2O]$ 中，由于配位体 H_2O 和 NH_3 形成的配位场的作用，在可见光区选择性吸收，故两者都不显颜色，又由于 NH_3 比 H_2O 有较大的场强。$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ 中的分裂能比 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ 中的大，实现 d-d 跃迁要吸收波长更短的光子，配合物的颜色出就相应的由 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 的蓝色移向 $[Cu(NH_3)_4]SO_4 \cdot H_2O$ 深蓝色。

6. 答：价键理论认为：在 $[FeF_6]_3^-$ 中，Fe^{3+} 采用 sp^3d^2 杂化轨道接受 F^- 的电子对配位成碱，其电子排布为

3d　　4s　　4p　　4d

↑ ↑ ↑ ↑ ↑ [↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓]

sp^3d^2

故为外轨型配离子。

晶体场理论认为: 在 $[FeF_6]_3^-$ 中，F^- 形成弱八面体场，Fe^{3+} 的电子排布为 $t^2g^3eg^2(de^3dr^2)$，为高自旋配离子。

↑ ↑ eg（dr）

↑ ↑ ↑ t^2g（de）

两种理论的电子排布结果成单电子数相同，均为 5 个。

7. 答：八面体强场：

d^4：de^4dr^0（$t^2g^4eg^0$）　低自旋

d^5：de^5dr^0（$t^2g^5eg^0$）　低自旋

d^6：de^6dr^0（$t^2g^6eg^0$）　低自旋

d^7：de^6dr^1（$t^2g^6eg^1$）　低自旋

八面体弱场：

d^4：de^3dr^1（$t^2g^3eg^1$）　高自旋

d^5：de^3dr^2（$t^2g^3eg^2$）　高自旋

d^6：de^4dr^2（$t^2g^4eg^2$）　高自旋

d^7：de^5dr^2（$t^2g^5eg^2$）　高自旋

8. 答：（1）Ni^{2+} 为 d^8 电子构型，不论在强或弱八面体场中 d 电子均采取 de^6dr^2（或 $t^2g^6eg^2$）的排布方式，有 2 个未成对电子。故其八面体配合物都属高自旋。

（2）过渡金属离子多数具有未充满的 d 轨道，水合离子形成后，因为 d 轨道分裂，可以从可见光中吸收部分光而发生 d–d 跃迁，其余光可以透射或散射出来，即成为该水合离子的颜色。具有 d^0 或 d^{10} 构型的离子（如 Sc^{3+} 或 Zn^{2+}）所形成的水合离子，由于没有 d 电子或没有空的 d 轨道，在可见光照射下，不会发生 d–d 跃迁，可见光都可透射或散射，因此它们多是无色的。

十一、s 区重要元素及其化合物

【基础练习题】

一、填空题

1. 锂 Li, 钠 Na, 钾 K, 铷 Rb, 铯 Cs　1

2. 失去　阳　还原

3. 钾　钠

二、选择题

1.C　2.C　3.D　4.B　5.C　6.B　7.C　8.C　9.D　10.C　11.C　12.D　13.A　14.C

15.D　16.B　17.D　18.C　19.B　20.C　21.C　22.E　23.D　24.D　25.C　26.C

三、推断题

$NaHCO_3$　Na_2CO_3　$NaOH$　Na_2O_2

【拓展习题】

1. 答：电子层数从上到下逐渐增多，核对最外层电子的引力逐渐减弱，因此，化学活泼性从上到下越来越强。

2. 答：氢氧化钾可溶，而氢氧化锂微溶。锂和镁具有对角线规律的相似性。

3. 答：$2Na+2H_2O \xlongequal{} 2NaOH+H_2$

$2Na+2C_2H_5OH \xlongequal{} 2C_2H_5ONa+H_2$

$Na+MgO \xlongequal{} Na_2O+Mg$

$4Na+TiCl_4 \xlongequal{} Ti+4NaCl$

$2Na+2NH_3 \xlongequal{} 2NaNH_2+H_2$

$2Na+Na_2O_2 \xlongequal{} 2Na_2O$

4. 答：$2Na_2O_2+2CO_2 \xlongequal{} 2Na_2CO_3+O_2$

$3Na_2O_2+2NaCrO_2+2H_2O \xlongequal{} 2Na_2CrO_4+4NaOH$

5. 答：（1）同两性金属反应。

（2）同非金属硼、硅反应。

（3）同卤素等非金属时，非金属发生歧化。

（4）能与酸反应进行中和反应，生成盐和水。

（5）与酸性氧化物反应生成盐和水。

氢氧化钠的用途是常用于矿物原料和硅酸盐试样的分解。

氢氧化钙的用途是在工业上往往是使用它的悬浮液，即石灰乳。

6. 答：$2NaCl \xrightarrow{电解} 2Na+Cl_2\uparrow$

$2NaCl+2H_2O \xrightarrow{电解} 2NaOH+H_2\uparrow+Cl_2\uparrow$

$2Na+O_2 \xrightarrow{点燃} Na_2O_2$

$2NaOH+CO_2 \longrightarrow Na_2CO_3+H_2O$

7. 答：碱土金属有两个价电子，碱金属只有一个价电子，碱土金属的金属键比相应的碱金属的金属键强，所以，碱土金属的熔点，硬度均比相应的碱金属高。

8. 答：$3Ca+N_2=Ca_3N_2$；$Ca_3N_2+3H_2O=3Ca(OH)_2+2NH_3\uparrow$

9. 答：Be 的电负性较大（1.57），Be^{2+} 的半径较小（约 31pm），使其极化能力很强，所以 $BeCl_2$ 中 Be—Cl 键以共价性为主，$BeCl_2$ 为共价化合物。而其他碱土金属的电负性较小但离子半径却比 Be^{2+} 大得多，$MgCl_2$，$CaCl_2$ 中的键以离子性为主，化合物为离子化合物。

10. 答：利用 $Be(OH)_2$ 可溶于 NaOH，而 $Mg(OH)_2$ 却不溶，将两者分离。

$BeCO_3$ 受热不易分解，而 $MgCO_3$ 受热易分解。

BeF_2 可溶于水，而 MgF_2 不溶于水，将两者分离。

11. 答：$BaSO_4 + 4C \xlongequal{} BaS + 4CO$

$BaSO_4 + 4CO \xlongequal{} BaS + 4CO_2$

$BaS + 4H_2O = Ba(HS)_2 + 4Ba(OH)_2$

$Ba(HS)_2 + CO_2 + H_2O = BaCO_3 + 2H_2S$

$BaCO_3 + 2HCl = BaCl_2 + CO_2 + H_2O$

$BaCO_3 \overset{\triangle}{=} BaO + CO_2$

$BaO + O_2 \overset{点燃}{=} BaO_2$

12. 答：$BaCl_2 + (NH_4)_2CO_3 = BaCO_3\downarrow + 2NH_4Cl$

$CaCl_2 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NH_4Cl$

$2BaCO_3 + K_2Cr_2O_7 + 2HAc \longrightarrow 2BaCrO_4\downarrow + 2KAc + H_2O + 2CO_2\uparrow$

$2CaCO_3 + K_2Cr_2O_7 + 2HAc \longrightarrow 2CaCrO_4\downarrow + 2KAc + H_2O + 2CO_2\uparrow$

十二、P 区重要元素及其化合物

【基础练习题】

一、填空题

1. 无　蓝
2. 加氯水及无色汽油　加硝酸银溶液及稀硝酸
3. 氟化氢　棕　阴暗
4. 二　氧元素　二氧化硅和硅酸盐
5. 金刚石　硅　二氧化硅　共价键
6. 高熔点　高沸点　高硬度
7. 溶液变浑浊　溶液吸收了空气中的二氧化碳，反应生成了原硅酸
8. 不溶于水　不溶于酸
9. 白磷　红磷　黑磷　白磷
10. 二　三　一
11. As_2O_5　Bi_2O_3
12. AsH_3　砷镜

二、选择题

1.A　2.C　3.B　4.C　5.C　6.D　7.B　8.D　9.A　10.B　11.D　12.A　13.A　14.C
15.E　16.A　17.C　18.A　19.D　20.E　21.C　22.A　23.C　24.B　25.D　26.D
27.D　28.B　29.D　30.C　31.A　32.D　33.B　34.A　35.D　36.B　37.B　38.B
39.C　40.E　41.D　42.D　43.C　44.C　45.C　46.B　47.B

三、推断题

① A: $Na_2Cr_2O_7$　B: Cl_2　C: $CrCl_3$。

② D: $Cr(OH)_3$　E: $Cr(OH)_4^-$　F: K_2CrO_4。

③ $K_2Cr_2O_7 + 14HCl$（浓）$= 2CrCl_3 + 2KCl + 3Cl_2\uparrow + 7H_2O$。

④ $CrCl_3 + 3KOH = 3KCl + Cr(OH)_3\downarrow$ 。

【拓展习题】

一、配平方程式

1. $H_2S+H_2O_2 = S+2H_2O$

   $H_2S+4H_2O_2$（过量）$= H_2SO_4+4H_2O$

2. $H_2S+Br_2=2HBr+S$

   H_2S+4Br_2（过量）$+4H_2O = 8HBr+H_2SO_4$

3. $H_2S+I_2 = 2I^-+S+2H^+$

4. $2H_2S+O_2 = 2S+2H_2O$

5. $3H_2S+ClO_3^- = 3S+Cl^-+3H_2O$

6. $2S^{2-}+SO_3^{2-}+6H^+ = 3S+3H_2O$

7. $2Na_2S_2O_3+I_2 = Na_2S_4O_6+2NaI$

8. $Na_2S_2O_3+4Cl_2+5H_2O = Na_2SO_4+H_2SO_4+8HCl$

9. $SO_2+Cl_2+2H_2O = H_2SO_4+2HCl$

10. $5H_2O_2+2MnO_4^-+6H^+ = 2Mn^{2+}+5O_2+8H_2O$

11. $2Na_2O_2+2CO_2 = 2Na_2CO_3+O_2$

12. $2KO_2+2H_2O = 2KOH+O_2+H_2O_2$

13. $4Fe(OH)_2+O_2+2H_2O = 4Fe(OH)_3$

14. $5S_2O_8^{2-}+2Mn^{2+}+8H_2O = 10SO_4^{2-}+2MnO_4^-+16H^+$

15. $H_2SeO_3+H_2O_2 = H_2SeO_4+H_2O$

二、简答与计算

1. 解：见下表

物种	分子轨道	键级	磁性	相对稳定性
O_2^+	$KK\sigma_{2S}^2\sigma^*{}_{2S}^2\sigma_{2P}^2\pi_{2Py}^2\pi_{2Px}^2\pi^*{}_{2Py}^1$	2.5	顺	依次减↓小
O_2	$KK\sigma_{2S}^2\sigma^*{}_{2S}^2\sigma_{2P}^2\pi_{2Py}^2\pi_{2Px}^2\pi^*{}_{2Py}^1$	2	顺	
O_2^-	$KK\sigma_{2S}^2\sigma_{2S}^{*2}\sigma_{2P}^2\pi_{2py}^2\pi_{2pz}^2\pi_{2py}^{*2}\pi_{2px}^{*1}$	1.5	顺	
O_2^{2-}	$KK\sigma_{2S}^2\sigma_{2S}^{*2}\sigma_{2p}^2\pi_{2py}^2\pi_{2pz}^2\pi_{2py}^{*2}\pi_{2px}^{*1}$	1	逆	

2. 答：重水：D_2O；重氧水：H_2O；重水是核能工业常用的中子减速剂，重氧水是研究化学反应特别是水解反应机制的示踪剂。

3. 答：O_2 的分子轨道式为 $KK\sigma_{2S}^2\sigma_{2S}^{*2}\sigma_{2px}^2\pi_{2py}^2\pi_{2pz}^2\pi_{2py}^{*1}\pi_{2pz}^{*1}$ 可见 O_2 分子中有 2 个单电子，因而具有顺磁性。而 O_3 为反磁性，因 O_3 分子中无单电子，分之中存在

π_3^4 的大 π 键。

4. 答：在实验室里制备臭氧主要靠紫外光（<185nm）照射氧或使氧通过静电放电装置而获得臭氧与氧的混合物，含臭氧可达 10%。臭氧发生器的示意图见图 13–10。它是两根玻璃套管所组成的，中间玻璃管内壁镶有锡锚，外管外壁绕有铜线，当锡箔与铜线间接上高电压时，两管的管壁之间发生无声放电（没有火花的放电），O_2 就部分转变成了 O_3。

5. 答：油画放置久后会变黑，发暗，原因是油画中的白色颜料中含 $PbSO_4$，遇到空气中的 H_2S 会生成 PbS 造成的。

$PbSO_4+H_2S$ ══ PbS（黑）$+H_2SO_4$

H_2O_2 处理又重新变白，是因为发生以下反应

$PbS+H_2O_2$ ══ $PbSO_4+H_2O_2$

6. 答：氧族元素的氢化物有 H_2O,H_2S,H_2Se,H_2Te

卤族元素的氢化物有 HF,HCl,HBr,HI

（1）酸性：

$H_2O<H_2S<H_2Se<H_2Te$

$HF<HCl<HBr<HI$

卤族元素氢化物的酸性远强于同周期的氧族元素的氢化物。

（2）还原性：

$H_2O<H_2S<H_2Se<H_2Te$

$HF<HCl<HBr<HI$

卤族元素氢化物的还原性弱于同周期氧族元素的氢化物。

（3）热稳定性：

$H_2O>H_2S>H_2Se>H_2Te$

$HF>HCl>HBr>HI$

卤族元素氢化物的热稳定性比同周期的氧族元素氢化物热稳定性高。可见，氧族元素的氢化物与卤族元素氢化物的性质递变规律相同。

7. 答：H_2SO_4 没 $HClO_4$ 酸性强，H_2SO_4 氧化性强，$HClO_4$ 热稳定性强。

8. 答：MnO_2+4H^++2e ══ $Mn^{2+}+H_2O$　$\varphi^\theta=1.23V$

$H_2O_2+2H^++2e$ ══ $2H_2O$　$\varphi^\theta=1.776V$

$O_2(g)+4H^++2e$ ══ H_2O_2　$\varphi^\theta=0.6824V$

由标准电极电位可知，$\varphi^\theta_{MnO_2/Mn^{2+}}<\varphi^\theta_{H_2O_2/H_2O}$

∴ H_2O_2 能将 Mn^{2+} 氧化成 MnO_2，$\varphi^\theta_{MnO_2/Mn^{2+}}>\varphi^\theta_{O_2/H_2O_2}$

∴ MnO_2 又可被 H_2O_2 还原成 Mn^{2+}，H_2O_2 被氧化得到 O_2，这样形成一个循环连续的反应过程，所以 Mn^{2+} 能加快 H_2O_2 的分解。

9. 答：$\varphi^{\theta}_{MnO_2/Mn^{2+}}=1.23V$

H_2O_2 作为氧化剂时 $\varphi^{\theta}_{H_2O_2/H_2O}=1.776V$

H_2O_2 能氧化 Mn^{2+}　$Mn^{2+} + 2H_2O_2 = MnO_2 + 2H_2O$

H_2O_2 作为还原剂 $\varphi^{\theta}_{O_2/H_2O_2}=0.68V<1.23V$

H_2O_2 能还原 MnO_2　$MnO_2 + 2H_2O_2 = Mn^{2+} + O_2 + 2H_2O$

总反应式为 $2H_2O_2 \xlongequal{MnO_2} O_2\uparrow + 2H_2O$

十三、d 区重要元素及其化合物

【基础练习题】

一、填空题

1. 铁屑　硫酸　防止 Fe^{2+} 水解和被氧化

2. $(n-1)d^{1-9}ns^{1-2}$　金属性　同种元素有多种氧化数　离子常带色　易形成络合物

3. Fe　Ti

二、选择题

1.D　2.A　3.C　4.B　5.C　6.B　7.B　8.B　9.C　10.B　11.D　12.D　13.B　14.D　15.E　16.D　17.D　18.B　19.B　20.A　21.C　22.B

三、推断题

1.（1）首先分别加入 $NH_3 \cdot H_2O$

（2）不能溶解的为 CuCl 和 AgCl

（3）反应且变灰黑色沉淀的是 Hg_2Cl_2

（4）再在余下的两种溶液中通入空气，变蓝的则原物质是 CuCl

（5）另一种无变化的为 AgCl

2.（1）$H_2O + Cr_2O_7^{2-} + 2Ba^{2+} = 2BaCrO_4\downarrow + 2H^+$

（2）$2BaCrO_4 + 16HCl$（浓）$= 2CrCl_3 + 3Cl_2\uparrow + 2BaCl_2 + 8H_2O$

3.（1）A: $K_2Cr_2O_7$　B: Cl_2　C: $CrCl_3$

（2）D: $Cr(OH)_3$　E: $Cr(OH)_4^-$　F: K_2CrO_4

（3）$K_2Cr_2O_7 + 14HCl$（浓）$= 2CrCl_3 + 2KCl + 3Cl_2\uparrow + 7H_2O$

（4）$CrCl_3 + 3KOH = 3KCl + Cr(OH)_3\downarrow$

（5）$Cr(OH)_3 + OH^- = Cr(OH)_4^-$

（6）$2OH^- + 2Cr(OH)_4^- + 3H_2O_2 = 2CrO_4^{2-} + 8H_2O$

（7）$2CrO_4^{2-} + 2H^+ = Cr_2O_7^{2-} + H_2O$

4.（1）溶液中含的三种阴离子是：MnO_4^-，CrO_4^{2-}，Cl^-。

（2）$CrO_4^{2-} + Ag^+ = Ag_2CrO_4 \downarrow$

（3）$Ag^+ + Cl^- = AgCl \downarrow$

（4）$2Ag_2CrO_4 + 2H^+ = Cr_2O_7^{2-} + H_2O + 4Ag^+$

（5）$2MnO_4^- + 5SO_3^{2-} + 6H^+ = 2Mn^{2+} + 3H_2O + 5SO_4^{2-}$

【拓展习题】

一、完成方程式

1.（1）$Ti + 6HF = H_2TiF_6 + 2H_2 \uparrow$

（2）$TiO_2 + H_2SO_4 = TiOSO_4 + H_2O$

（3）$TiCl_4 + 2H_2O = TiO_2 + 4HCl$

（4）$FeTiO_3 + 2H_2SO_4 = TiOSO_4 + FeSO_4 + 2H_2O$

（5）$TiO_2 + BaCO_3 = BaTiO_3 + CO_2 \uparrow$

（6）$TiO_2 + 2C + 2Cl_2 = TiCl_4 + 2CO \uparrow$

2.（1）$TiI_4 = Ti + 2I_2$

（2）$2FeTiO_3 + 6C + 5Cl_2 = 2FeCl_3 + 2TiCl_4 + 6CO$

（3）$TiCl_6^{2-} + NH_3 = [Ti(NH_3)_6]^{4+} + 6Cl^-$

3.（1）$V_2O_5 + 2NaOH = 2NaCO_3 + H_2O$

$V_2O_5 + 6NaOH = 2Na_3VO_4 + 3H_2O$

（2）$V_2O_5 + 6HCl = 2VOCl_2 + Cl_2 + 3H_2O$

（3）$VO_4^{3-} + 4H^+$（过量）$= VO_2^+ + 2H_2O$

（4）$VO_2^+ + Fe^{2+} + 2H^+ = VO^{2+} + Fe^{3+} + H_2O$

（5）$2VO_2^+ + H_2C_2O_4 + 2H^+ = 2VO^{2+} + 2CO_2 \uparrow + 2H_2O$

二、简答与计算

1. 解：钛的主要矿物有钛铁矿 $FeTiO_2$

反应原理：

$FeTiO_3 + 2H_2SO_4 = TiOSO_4 + FeSO_4 + 2H_2O$

$TiOSO_4 + 2H_2O = TiO_2 \cdot H_2O \downarrow + H_2SO_4$

$TiO_2 \cdot H_2O = TiO_2 + H_2O$

2. 解：$TiCl_3$ 显色是因为产生了电核跃迁，$[Ti(O_2)OH(H_2O)_4]^+$ 有色是因为 O_2^{2-} 离子变形性较强，d—d 跃迁所引起。

3. 解：$TiCl_4 + 3H_2O = H_2TiO_3 + 4HCl\uparrow$

$2TiCl_4 + Zn = 2TiCl_3\downarrow + ZnCl_2$

$TiCl_3 + 3NaOH = Ti(OH)_3 + 3NaCl$

$3Ti(OH)_3 + 7HNO_3 = 3TiO(NO_3) + 2NO\uparrow + 8H_2O$

$TiO^{2+} + 2OH^- + H_2O = Ti(OH)_4\downarrow$

4. 解：由查表得：

$E^\theta_{TiO_2/Ti^{3+}}=0.1V$，$E^\theta_{SO_4^{2-}/H_2SO_3}=0.20V$

$E^\theta_{S/H_2S}=0.141V$，$E^\theta_{Sn^{4+}/Sn^{2+}}=0.15V$，$E^\theta_{Al^{3+}/Al}=-0.67V$

因为 $E^\theta_{Al^{3+}/Al}<E^\theta_{TiO^{2+}/Ti^{3+}}$，故只有 Al 才可以还原 TiO^{2+} 离子成 Ti^{3+} 离子

5. 解：（1）$MnSO_4 + 6KCN = K_4[Mn(CN)_6] + K_2SO_4$

（2）$4MnO_2+6H_2SO_4 = 2Mn_2(SO_4)_3+6H_2O+O_2$

$Mn_2(SO_4)_3+12KCN = 2K_3Mn(CN)_6+3K_2SO_4$

（3）$MnS + 2O_2 = MnO_2 + SO_2$

$2MnO_2 + 4KOH + O_2 = 2K_2MnO_4 + 2H_2O$

$2K_2MnO_4 + 2H_2O = 2KMnO_4 + 2KOH + H_2$

（4）$MnCO_3 + 2HNO_3 = Mn(NO_3)_2 + H_2O + CO_2$

$Mn(NO_3)_2 = MnO_2 + 2NO_2$

$2MnO_2 + 4KOH + O_2 = 2K_2MnO_4 + 2H_2O$

（5）$BaMnO_4+K_2SO_4 = K_2MnO_4+BaSO_4$

$K_2MnO_4+CO_2 = KMnO_4+MnO_2+2K_2CO_3$

$KMnO_4+SO_3^{2-}+H_2O = 2MnO_2+SO_4^{2-}+2OH^-$（中性条件下）

$3MnO_2 = Mn_3O_4+O_2$（加热）

$Mn_3O_4+8Al = 4Al_2O_3+9Mn$

6. 解：取决于（1）溶液的 pH，随着 pH 的下降，聚合度增大，但若加入足够量 的酸，溶液中存在稳定的 VO_2^+ 离子 。

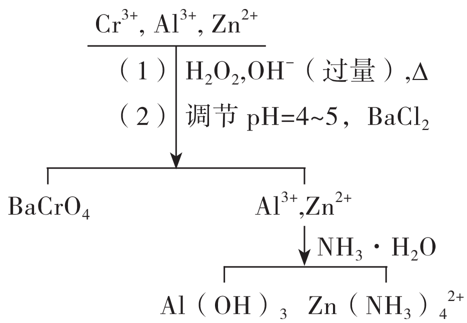
（2）钒酸根浓度的大小，浓度低于 10^{-4}mol/L 时，溶液中存在的仅为单体钒酸根和酸式钒酸根离子，若浓度大于 10^{-4}mol/L，则当酸度过高，pH 约为 2 时，会沉淀出红棕色的五氧化二钒水合物。

7. 解：（1）$2Mn(OH)_2 + O_2 = 2MnO(OH)_2$　　$MnO(OH)_2$ 为暗褐色

（2）$Hg(OH)_2 = HgO + H_2O$　　HgO 为黄色

（3）$Cu(OH)_2 = CuO + H_2O$　　CuO 为黑色

8. 解：



9. 解：$K_{sp,\ AgCl} = 1.8 \times 10^{-10} = [Ag^+][Cl^-]$　　$K_{sp,\ Ag_2CrO_4} = 2.0 \times 10^{-12} = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}]$

故先得到 AgCl 沉淀

若使 AgCl 沉淀 $[Ag^+] = \dfrac{K_{sp,AgCl}}{Cl^-} = \dfrac{1.8 \times 10^{-10}}{10^{-3}} = 1.8 \times 10^{-7} mol/L$

使 Ag_2CrO_4 沉淀 $[Ag^+] = \dfrac{K_{sp,Ag_2CrO_4}}{[CrO_4^{2-}]} = \sqrt{\dfrac{2.0 \times 10^{-12}}{10^{-3}}} = 4.47 \times 10^{-5} mol/L$

故当 Ag_2CrO_4 产生沉淀时

$[Cl^-] = \dfrac{K_{sp,Agcl}}{[Ag^+]} = \dfrac{1.8 \times 10^{-10}}{4.47 \times 10^{-5}} = 0.4 \times 10^{-5} mol/L$

$\dfrac{10^{-3} - 0.4 \times 10^{-5}}{10^{-3}} \times 100\% = 99.6\%$

故可基本分离

10. 解：（1）解：设 $Cr_2O_7^{2-}$ 浓度为 $x$mol/L

$2\,CrO_4^{2-} + 2H^+ \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-} + H_2O$

$2x$　　　　　　　x

2　　　　　　　　1

$[CrO_4^{2-}] = [Cr_2O_7^{2-}]$　则：$(1-2)x = x$　$x = 1/3 mol/L$

$K = \dfrac{[Cr_2O_7^{2-}]}{[CrO_4^{2-}] \cdot 2[H^+]^2}$

$[H^+] = \sqrt{\dfrac{[Cr_2O_7^{2-}]}{[CrO_4^{2-}] \cdot [H^+]^2}} = \sqrt{\dfrac{1/3}{(1/3)^2 \cdot 10^{14}}}$

得 :pH= $-\lg[H^+] = 6.76$

11. 解：设结构式为 $[Cr(H_2O)6Cl_{(3-x)}]Cl_x$ 则 1mol 该物可电离出 $x$mol 的 Cl^-

$Cl^- + Ag^+ = AgCl$

0.15mol　$75 \times 2 \times 10^{-3}$mol

1　　1

六水合氯化铬的量为：20g/266.45g/mol = 0.075mol

则： $x/1 = 0.15/0.075 = 2$

即结构式为： $[Cr(H_2O)_6Cl]Cl_2$

12. 解： $6MnWO_4 + 6Na_2CO_3 + O_2 = 2Mn_3O_4 + 6Na_2WO_4 + 6CO_2$

$Na_2WO_4 + 2HCl = H_2WO_4 + 2NaCl$

$H_2WO_4 + 2NH_3 \cdot H_2O = (NH_4)_2WO_4 + 2H_2O$

$(NH_4)_2WO_4 = 2NH_3\uparrow + WO_3 + H_2O$

$WO_3 + 3H_2 = W + 3H_2O$

13. 解： $E^{\theta}\ MnO_4^-, Mn^{2+} = 1.51V$

$E^{\theta}_{Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}} = 1.33V$

$E^{\theta}_{MnO_4^-/Mn^{2+}} > E^{\theta}_{Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}}$

故反应向右进行

14. 解： $1g\ K = \dfrac{nE^{\theta}}{0.059}$

$E^{\theta}_{MnO_4^-/Mn^{2+}} = 1.51V$

$E^{\theta}_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = 0.771V$

$$\lg K = \frac{5 \times (1.51 - 0.771)}{0.059}$$

得 ： $K = 4.24 \times 10^{62}$，故反应不可逆。

15. 解： $MnO_2 + H_2SO_4 + H_2O_2 = MnSO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$

$2MnO_2 + 4KOH + O_2 = 2K_2MnO_4 + 2H_2O$

$2K_2MnO_4 + Cl_2 = 2KMnO_4 + 2KCl$

16. 解： （1）$2MnO_4^- + 10I^- + 16H^+ = 2Mn^{2+} + 5I_2 + 8H_2O$

（2）$6MnO_4^- + 5I^- + 18H^+ = 6Mn^{2+} + 5IO_3^- + 9H_2O$

17. 解： $$Cr\% = \frac{0.0549 \times \dfrac{52}{253.3} \times \dfrac{250}{10}}{10.00} \times 100 = 2.82\%$$

$$Mn\% = \frac{\left(0.075 \times 15.95 \times \dfrac{250}{10} - \dfrac{0.0282 \times 10 \times 10000}{52/3}\right) \times \dfrac{54.95}{5000}}{10.00} \times 100$$

$$= 1.50\%$$

（秦子平）

参考文献

[1] 牛秀明．无机化学．2 版．北京：人民卫生出版社，2014

[2] 刘幸平．无机化学实验．北京：人民卫生出版社，2012

[3] 刘斌．无机及分析化学．2 版．北京：高等教育出版社，2013

[4] 赵新华．无机化学实验．4 版．北京：高等教育出版社，2014

[5] 伍晓春．无机化学实验．北京：科学出版社，2015

[6] 中山大学．无机化学实验．3 版．北京：高等教育出版社，2015

[7] 大连理工大学无机化学教研室．无机化学实验．3 版．北京：高等教育出版社，2014

[8] 北京师范大学．无机化学实验．4 版．北京：高等教育出版社，2014

附　　录

洗涤液的配制及使用

1. 铬酸洗液　配制浓度各有不同，从 5%~12% 的各种浓度都有。配制方法大致相同：取一定量的 $K_2Cr_2O_7$（工业品即可），先用 1~2 倍的水加热溶解，稍冷后，将工业用浓 H_2SO_4 所需体积数徐徐加入 $K_2Cr_2O_7$ 溶液中（千万不能将水或溶液加入 H_2SO_4 中），边倒边用玻璃棒搅拌，并注意不要溅出，混合均匀，俟冷却后，装入洗液瓶备用。新配制的洗液为红褐色 ，氧化能力很强。当洗液用久后变为黑绿色，即说明洗液无氧化洗涤力。

例如，配制 12% 的洗液 500ml。取 60g 工业品 $K_2Cr_2O_7$ 置于 100ml 水中（加水量不是固定不变的，以能溶解为度），加热溶解，冷却，徐徐加入浓硫酸：340ml，边加边搅拌，冷后装瓶备用。

2. 碱性高锰酸钾洗液　用碱性高锰酸钾作洗液，作用缓慢，适合用于洗涤有油污的器皿。配法：取高锰酸钾（$KMnO_4$）4g 加少量水溶解后，再加入 10% 氢氧化钠（NaOH）100ml。

3. 纯酸纯碱洗液　根据器皿污垢的性质，直接用浓硫酸（HCl）或浓硫酸（H_2SO_4）、浓硝酸（HNO_3）浸泡或浸煮器皿（温度不宜太高，否则浓酸挥发刺激人）。纯碱洗液多采用 10% 以上的浓 烧碱（NaOH）、氢氧化钾（KOH）或碳酸钠（Na_2CO_3）液浸泡或浸煮器皿（可以煮沸）。

4. 碱性乙醇洗液　溶解 120g 氢氧化钠固体于 120ml 水中，用 95% 乙醇稀释至 1L。在铬酸洗液洗涤无效时，用于清洗各种油污；由于碱对玻璃的腐蚀，玻璃磨口不能长期在该洗液中浸泡；须存放于胶塞瓶中，防止挥发、防火，久注易失效。

5. 碱性高锰酸钾洗液　4g 高锰酸钾固体溶于少量水中，再加入 100ml10% 氢氧化钠溶液清洗玻璃器皿内的有无或其他有机物质；浸泡后器壁上会析出一层二氧化锰，需用盐酸或盐酸加过氧化氢除去。

6. 磷酸钠洗液　57g 磷酸钠、28g 油酸钠溶于 470ml 水中。清洗玻璃器皿上的残留物，浸泡数分钟后用刷子刷洗。

7. 酸性硫酸亚铁洗液　含有少量硫酸亚铁溶液清洗由于贮存高锰酸及洗液而残留

在玻璃器皿上的棕色污斑，浸泡后洗刷。

8. 硝酸－过氧化氢洗液　15%~20%的硝酸加等体积的5%过氧化氢，清除特殊难洗的化学污物，久存易分解，应存放于棕色瓶。

9. 有机溶剂　如三氯乙烯、二氯乙烯、苯、二甲苯、丙酮、乙醇、乙醚、三氯甲烷、四氯化碳、汽油等，清除玻璃器皿上的油脂类、单体原液、聚合体等有机污物，应根据污物性质选者使用注意毒性、可燃性，用过的废液溶剂应回收。

10. 硫代硫酸钠洗液　10%的硫代硫酸钠溶液。可清洗衣物上的碘斑，浸泡后洗刷。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：（010）88254396；（010）88258888

传　　真：（010）88254397

E-mail：dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮　　编：100036

元素周期表

原子序数 — 92 U — 元素符号，红色指放射性元素
元素名称 注*的是人造元素 — 铀
$5f^36d^17s^2$ — 外层电子分布，括号指可能的电子层分布
238.03 — 相对原子质量

金属　非金属　稀有气体　过渡元素

族 / 周期	I A 1	II A 2	III B 3	IV B 4	V B 5	VI B 6	VII B 7	VIII 8	9	10	I B 11	II B 12	III A 13	IV A 14	V A 15	VI A 16	VII A 17	0 18	电子层	0族电子数
1	1 H 氢 $1s^1$ 1.008																	2 He 氦 $1s^2$ 4.003	K	2
2	3 Li 锂 $2s^1$ 6.941	4 Be 铍 $2s^2$ 9.012											5 B 硼 $2s^22p^1$ 10.81	6 C 碳 $2s^22p^2$ 12.01	7 N 氮 $2s^22p^3$ 14.01	8 O 氧 $2s^22p^4$ 16.00	9 F 氟 $2s^22p^5$ 19.00	10 Ne 氖 $2s^22p^6$ 20.18	L K	8 2
3	11 Na 钠 $3s^1$ 22.99	12 Mg 镁 $3s^2$ 24.31											13 Al 铝 $3s^23p^1$ 26.98	14 Si 硅 $3s^23p^2$ 28.09	15 P 磷 $3s^23p^3$ 30.97	16 S 硫 $3s^23p^4$ 32.06	17 Cl 氯 $3s^23p^5$ 35.45	18 Ar 氩 $3s^23p^6$ 39.95	M L K	8 8 2
4	19 K 钾 $4s^1$ 39.10	20 Ca 钙 $4s^2$ 40.08	21 Sc 钪 $3d^14s^2$ 44.96	22 Ti 钛 $3d^24s^2$ 47.87	23 V 钒 $3d^34s^2$ 50.94	24 Cr 铬 $3d^54s^1$ 52.00	25 Mn 锰 $3d^54s^2$ 54.94	26 Fe 铁 $3d^64s^2$ 55.85	27 Co 钴 $3d^74s^2$ 58.93	28 Ni 镍 $3d^84s^2$ 58.69	29 Cu 铜 $3d^{10}4s^1$ 63.55	30 Zn 锌 $3d^{10}4s^2$ 65.41	31 Ga 镓 $4s^24p^1$ 69.72	32 Ge 锗 $4s^24p^2$ 72.64	33 As 砷 $4s^24p^3$ 74.92	34 Se 硒 $4s^24p^4$ 78.96	35 Br 溴 $4s^24p^5$ 79.90	36 Kr 氪 $4s^24p^6$ 83.80	N M L K	8 18 8 2
5	37 Rb 铷 $5s^1$ 85.47	38 Sr 锶 $5s^2$ 87.62	39 Y 钇 $4d^15s^2$ 88.91	40 Zr 锆 $4d^25s^2$ 91.22	41 Nb 铌 $4d^45s^1$ 92.91	42 Mo 钼 $4d^55s^1$ 95.94	43 Tc 锝 $4d^55s^2$ 〔98〕	44 Ru 钌 $4d^75s^1$ 101.1	45 Rh 铑 $4d^85s^1$ 102.9	46 Pd 钯 $4d^{10}$ 106.4	47 Ag 银 $4d^{10}5s^1$ 107.9	48 Cd 镉 $4d^{10}5s^2$ 112.4	49 In 铟 $5s^25p^1$ 114.8	50 Sn 锡 $5s^25p^2$ 118.7	51 Sb 锑 $5s^25p^3$ 121.8	52 Te 碲 $5s^25p^4$ 127.6	53 I 碘 $5s^25p^5$ 126.9	54 Xe 氙 $5s^25p^6$ 131.3	O N M L K	8 18 18 8 2
6	55 Cs 铯 $6s^1$ 132.9	56 Ba 钡 $6s^2$ 137.3	57~71 La~Lu 镧系	72 Hf 铪 $5d^26s^2$ 178.5	73 Ta 钽 $5d^36s^2$ 180.9	74 W 钨 $5d^46s^2$ 183.8	75 Re 铼 $5d^56s^2$ 186.2	76 Os 锇 $5d^66s^2$ 190.2	77 Ir 铱 $5d^76s^2$ 192.2	78 Pt 铂 $5d^96s^2$ 195.1	79 Au 金 $5d^{10}6s^1$ 197.0	80 Hg 汞 $5d^{10}6s^2$ 200.6	81 Tl 铊 $6s^26p^1$ 204.4	82 Pb 铅 $6s^26p^2$ 207.2	83 Bi 铋 $6s^26p^3$ 209.0	84 Po 钋 $6s^26p^4$ 〔209〕	85 At 砹 $6s^26p^5$ 〔210〕	86 Rn 氡 $6s^26p^6$ 〔222〕	P O N M L K	8 18 32 18 8 2
7	87 Fr 钫 $7s^1$ 〔223〕	88 Ra 镭 $7s^2$ 〔226〕	89~103 Ac~Lu 锕系	104 Rf 𬬻* $(6d^27s^2)$ 〔261〕	105 Db 𬭊* $(6d^37s^2)$ 〔262〕	106 Sg 𬭳* 〔266〕	107 Bh 𬭛* 〔264〕	108 Hs 𬭶* 〔277〕	109 Mt 鿏* 〔264〕	110 Uun * 〔281〕	111 Uun * 〔272〕	112 Uub * 〔285〕								

镧系	57 La 镧 $5d^16s^2$ 138.9	58 Ce 铈 $4f^15d^16s^2$ 140.1	59 Pr 镨 $4f^36s^2$ 140.9	60 Nd 钕 $4f^46s^2$ 144.2	61 Pm 钷 $4f^56s^2$ 〔145〕	62 Sm 钐 $4f^66s^2$ 150.4	63 Eu 铕 $4f^76s^2$ 152.0	64 Gd 钆 $4f^75d^16s^2$ 157.3	65 Tb 铽 $4f^96s^2$ 158.9	66 Dy 镝 $4f^{10}6s^2$ 162.5	67 Ho 钬 $4f^{11}6s^2$ 164.9	68 Er 铒 $4f^{12}6s^2$ 167.3	69 Tm 铥 $4f^{13}6s^2$ 168.9	70 Yb 镱 $4f^{14}6s^2$ 173.0	71 Lu 镥 $4f^{14}5d^16s^2$ 175.0
锕系	89 Ac 锕 $6d^17s^2$ 〔227〕	90 Th 钍 $6d^27s^2$ 232.0	91 Pa 镤 $5f^26d^17s^2$ 231.0	92 U 铀 $5f^36d^17s^2$ 238.0	93 Np 镎 $5f^46d^17s^2$ 〔237〕	94 Pu 钚 $5f^67s^2$ 〔244〕	95 Am 镅* $5f^77s^2$ 〔243〕	96 Cm 锔* $5f^76d^17s^2$ 〔247〕	97 Bk 锫* $5f^97s^2$ 〔247〕	98 Cf 锎* $5f^{10}7s^2$ 〔251〕	99 Es 锿* $5f^{11}7s^2$ 〔252〕	100 Fm 镄* $5f^{12}7s^2$ 〔257〕	101 Md 钔* $(5f^{13}7s^2)$ 〔258〕	102 No 锘* $(5f^{14}7s^2)$ 〔259〕	103 Lr 铹* $(5f^{14}6d^17s^2)$ 〔262〕

注：
1. 相对原子质量录自1997年国际原子量表。
2. 相对原子质量加插号的为放射性元素的半衰期最长的同位素质量数。